TOME V : FASCICULE 2 1928

ANNALES

DU

SERVICE BOTANIQUE

DE LA DIRECTION GÉNÉRALE

DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DE LA COLONISATION

DE TUNISIE

TUNIS

SOCIÉTÉ ANONYME DE L'IMPRIMERIE RAPIDE DE TUNIS

5, rue Saint-Charles, 5

—

1928

MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE
AU SERVICE BOTANIQUE DE TUNISIE

TABLE DES MATIÈRES

Pages

INTRODUCTION ..... I, II

I. Station actinométrique du Service Botanique, par F. BŒUF.... 1

II. Instruments solarimétriques et spectropyrhéliométriques pour les mesures totales, normales et partielles du rayonnement solaire, par L. GORCZYNSKI 7

III. Quelques résultats d'étalonnage des tubes pyrhéliométriques, des pyrhéliographes et des solarimètres, par L. GORCZYNSKI... 39

IV. Climat solaire théorique sous la latitude 36° 49' Nord (Station du Service Botanique de Tunisie), par F. BŒUF 71

V. Formules et tables pour calculs actinométriques, par J.-V. AMIABLE 107

VI. Valeurs de l'intensité du rayonnement solaire obtenues de 1924 à 1927 à l'Ariana, pour l'incidence normale, par J.-V. AMIABLE. 127

VII. Quelques traits caractéristiques du climat solaire réel du littoral tunisien, d'après les enregistrements des pyrhéliographes thermo-électriques du Service Botanique de Tunisie pendant les années 1924 à 1927, par L. GORCZYNSKI 193

MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE
AU SERVICE BOTANIQUE DE TUNISIE

INTRODUCTION

La nécessité de connaître aussi exactement que possible les conditions physiques du milieu dans lequel le Service Botanique poursuit ses études de physiologie et de génétique végétales nous a déterminé à installer une station météorologique agricole. L'un des éléments du milieu physique dont l'importance a paru primordiale est la radiation solaire : c'est en effet le rayonnement solaire qui est la cause principale de l'échauffement du sol et de l'air et de l'évaporation de l'eau par le sol et les végétaux.

Au moment de l'installation de la station météorologique, en 1919, on ne connaissait guère comme appareils de mesure de la radiation solaire que des pyrhéliomètres coûteux, non enregistreurs pour la plupart, dont l'emploi ne convenait guère qu'aux laboratoires de physique du globe, et des actinomètres à distillation de liquide, dont les indications sont difficilement transformables en calories.

Un de ces actinomètres à boule bleue, type Bellani, nous fut généreusement envoyé par le regretté M. Vallot, directeur de l'Observatoire du Mont-Blanc, avec sa table de transformation des lectures en calories. Il resta en service du 12 janvier 1922 au 8 avril 1925, date à laquelle il fut détruit accidentellement.

Depuis le 18 août 1924, un autre actinomètre de même genre, mais à boule blanche, fonctionne sans interruption.

Les renseignements fournis par ces appareils sont d'une interprétation compliquée et peu sûre, au moins sous notre climat; nous ne citons ces actinomètres que pour mémoire.

L'organisation réelle de notre station actinométrique n'a pu être réalisée qu'à partir de 1924, grâce aux pyrhéliomètres et pyrhéliographes thermo-électriques combinés par M. Gorczynski. Ce savant spécialiste de l'actinométrie a bien voulu répondre à notre invitation et faire au Service Botanique plusieurs séjours au cours desquels les divers appareils ont été mis en station et étalonnés. Nous ne saurions trop remercier M. Gorczynski d'avoir bien voulu former le personnel chargé des observations et de nous avoir permis de mettre à contribution sa grande compétence pour entreprendre l'étude des problèmes actinométriques qui intéressent plus particulièrement la production végétale. Nous serons très heureux si, en retour, les résultats obtenus au Service Botanique peuvent compléter sa documentation concernant l'étude générale de la radiation solaire.

Nos remerciements vont également à M. Milankovitch, professeur à l'Université de Belgrade, qui a eu l'obligeance de calculer les quantités théoriques de calories reçues par notre Station, à l'incidence normale et sur surface horizontale, et pour divers coefficients de transmission de l'atmosphère. (Voir page 71.)

Le rayonnement solaire constituant un des facteurs essentiels du climat et de la météorologie, sa mesure ne pouvait laisser indifférent le Service Météorologique tunisien. Ce Service et la Direction générale des Travaux publics, dont il relève, ont bien voulu participer à la constitution de notre Station actinométrique par la fourniture d'une partie des appareils, ainsi qu'à la publication des résultats obtenus. Nous leur exprimons toute notre gratitude pour ce généreux concours.

Le développement pris par la Station actinométrique a nécessité la construction de locaux spécialement affectés à ces travaux; nous sommes très reconnaissant à la Direction générale de l'Agriculture de nous avoir accordé les crédits nécessaires à cette réalisation.

Le grand nombre d'observations à relever, les calculs fastidieux nécessités par la transformation des données des appareils en calories et la correction des résultats constituent un labeur ardu auquel notre collaborateur M. Amiable et son aide Abd el Mejid ont apporté beaucoup de conscience et de soins; ce nous est un agréable devoir de leur exprimer ici toute notre satisfaction.

F. BŒUF.

F. BŒUF

STATION ACTINOMÉTRIQUE DU SERVICE BOTANIQUE

La Station Actinométrique du Service Botanique comprend actuellement :

des appareils enregistreurs (pyrhéliographe, solarigraphe);
des appareils à lecture directe (pyrhéliomètre, solarimètre);
un appareil de contrôle (pyrhéliomètre à compensation);
une pendule garde-temps;
des appareils pour le calcul des courbes et des résultats;
un psychromètre.

Les appareils actinométriques sont décrits dans la note suivante (voir p. 7); nous donnerons seulement l'organisation d'ensemble de la Station.

I. Appareils enregistreurs

Ce sont trois *pyrhéliographes* (*fig. 1*) constitués par trois grandes piles

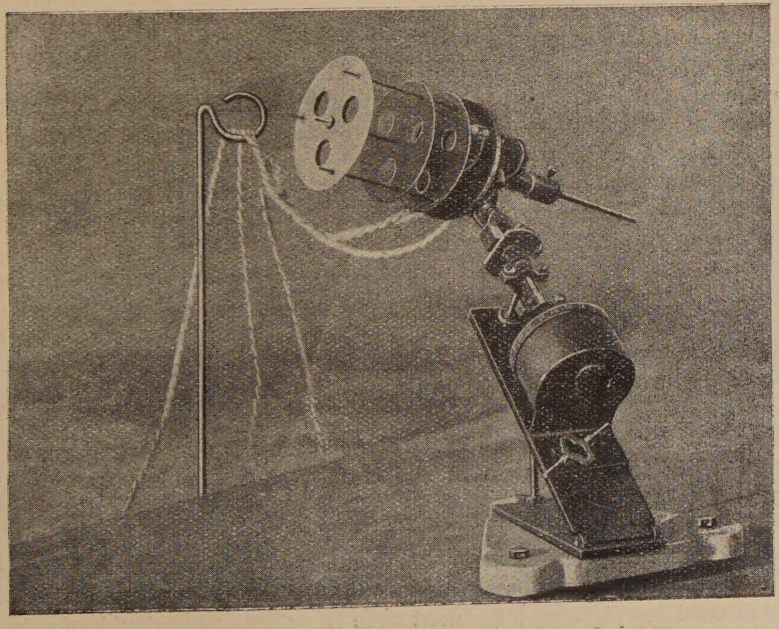


Fig. 1. — Trois piles de Moll montées sur le même équatorial.

de Moll sur une seule monture équatoriale actionnée par un mouvement d'horlogerie de vingt-quatre heures.

Le support a été construit au Service Botanique; il est constitué par un axe tournant dans deux roulements coniques à billes; il porte les piles et leurs diaphragmes. Cette monture permet d'actionner sans difficulté l'ensemble des trois piles par un mouvement d'horlogerie et de synchroniser par conséquent leurs indications.

L'une des piles est protégée par un verre (flint spécial de 3,5 m/m d'épaisseur; la seconde est placée derrière un verre noir (verre de marbre) de 35 m/m, bien poli; ce verre ne laisse passer aucune radiation visible; la troisième pile est placée derrière une cuve en quartz contenant une solution à 30 % de sulfate de cuivre pur dans l'eau qui ne laisse guère passer que les radiations violettes et ultra-violettes.

Ces trois pyrhéliographes solidaires nous donnent ainsi, sur une surface normale, le rayonnement complet et ses deux zones extrêmes. Ils restent continuellement exposés sur la terrasse, et un fonctionnement à peu près ininterrompu de plus de trois années permet de constater leur parfaite résistance aux intempéries. Il suffit de disposer d'un mouvement d'horlogerie de rechange pour être sûr de n'avoir aucun arrêt dans les observations.

Les piles n'ont jamais présenté la moindre avarie.

Le solarigraphe (*fig. 2*) a été construit pour répondre à notre désir d'avoir le rayonnement total (soleil et voûte céleste) sur une surface horizontale. Après avoir utilisé un appareil d'essai constitué par une grande pile Moll placée sous un verre approximativement hémisphérique (capsule en verre de laboratoire), nous l'avons remplacé, en novembre 1926, par le modèle établi par M. Gorczynski et comprenant une pile type Moll à nombre réduit d'éléments ne laissant entre eux aucun interstice vide, placée sous un verre rigoureusement hémisphérique, poli sur les deux faces, enfermant hermétiquement la pile dans un air bien sec. Les défauts du premier appareil ont été ainsi corrigés, et le solarigraphe actuel donne toute satisfaction.

Les courants produits par les trois pyrhéliographes et par le solarigraphe sont enregistrés par quatre millivoltmètres Richard (*fig. 3*) installés à l'intérieur dans un meuble vitré qui les abrite et en facilite la surveillance. Ils possèdent deux résistances différentes, ce qui permet de proportionner le déplacement de l'aiguille à l'importance de la radiation solaire. Les millivoltmètres qui sont reliés aux pyrhéliographes conservent la même résistance toute l'année. Celui qui est connecté au solarigraphe a une sensibilité plus grande; l'une des résistances est utilisée en été, l'autre en hiver.

La vitesse des cylindres est de six divisions des feuilles à l'heure, ce qui permet facilement d'avoir la courbe entière pour les plus grandes journées d'insolation.

Les quatre millivoltmètres ont été solidarisés pour que leurs indications soient synchrones. Le mouvement d'horlogerie de l'un d'eux est seul remonté et entraîne les quatre appareils au moyen d'un arbre de transmission dont les pignons engrènent avec la grande roue dentée de chaque

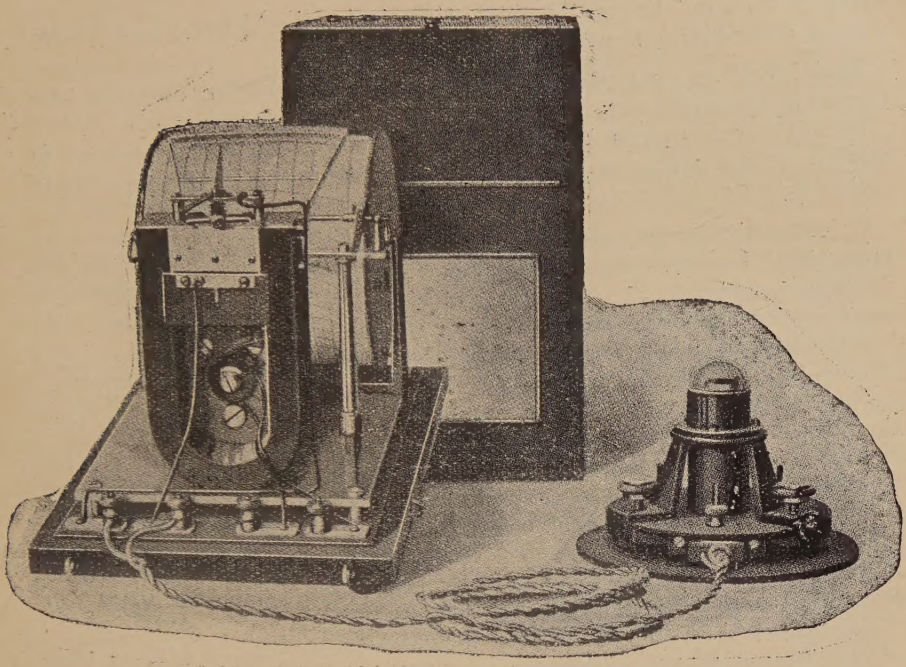


Fig. 2. — Solarigraphe : pile horizontale et millivoltmètre enregistreur

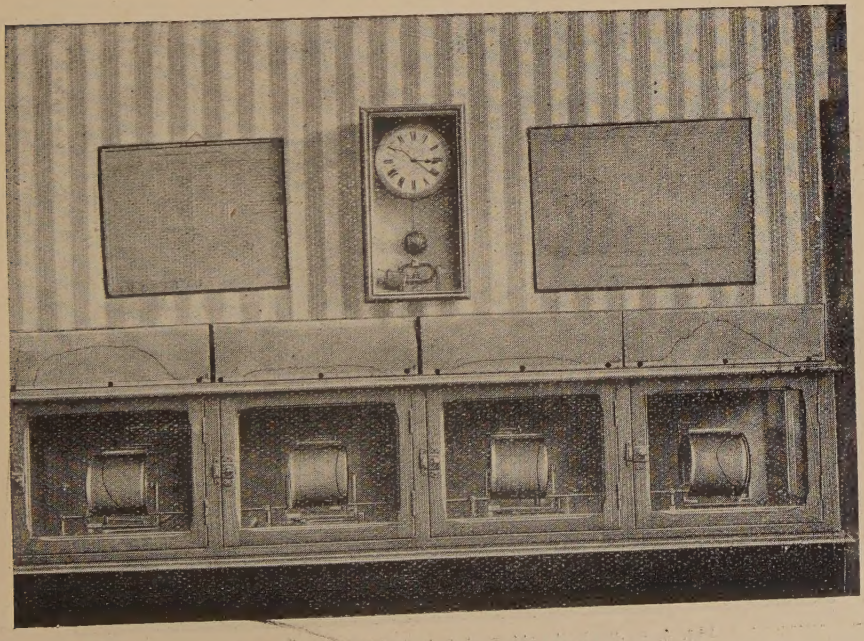


Fig. 3. — Quatre millivoltmètres enregistreurs synchronisés. — Pendule Leroy.

cylindre. Pour que l'ensemble puisse être ainsi actionné par un seul mouvement d'horlogerie, il a fallu :

rendre fous les cylindres des trois appareils conduits en enlevant leur pignon à frottement dur;

immobiliser le pignon à frottement dur du cylindre conducteur en le serrant sur son arbre par un petit écrou, que l'on desserre pour placer la feuille et mettre à l'heure.

Ce dispositif, très simple et facile à exécuter, permet d'avoir tous les appareils à la même heure. Les cylindres ayant conservé leur système d'horlogerie, l'un d'entre eux peut être instantanément mis en service en cas d'arrêt du cylindre conducteur.

Pour compléter le synchronisme des millivoltmètres, il faudrait faire tomber les quatre frappeurs en même temps, ce qui est difficilement réalisable mécaniquement; nous comptons obtenir ce synchronisme par l'action des quatre électro-aimants commandés par un courant qui sera périodiquement interrompu. Ce synchronisme n'est utile que pour rendre les graphiques comparables point par point pendant les jours nuageux.

Il reste également à remplacer les feuilles journalières par des bandes hebdomadaires. Nous pensons pouvoir les adapter à nos millivoltmètres moyennant quelques artifices faciles à réaliser. Il existe d'ailleurs des appareils enregistreurs multiples et à bandes.

Les appareils enregistreurs, quels que soient les soins apportés à leur construction et à leur utilisation, doivent être considérés comme des interpolateurs graphiques et leurs indications doivent être vérifiées et corrigées, s'il y a lieu, par des appareils à lecture directe.

II. Appareils a lecture directe

Ils comprennent :

un pyrhéliomètre Moll-Gorczynski-Richard, du même type que les pyrhéliographes, dont les indications sont reçues par un millivoltmètre unipivot de Guerpillon (*fig. 4*); les lectures durant peu de temps, la pile est

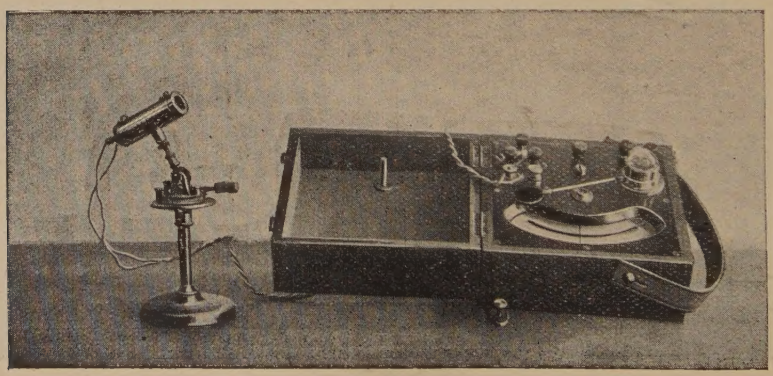


Fig. 4. — Pyrhéliomètre et Solarimètre à lecture directe.

placée dans un tube au lieu d'être diaphragmée; le peu de durée de l'observation permet de négliger l'échauffement possible du tube, d'ailleurs poli extérieurement et noirci intérieurement; deux filtres identiques à ceux des pyrhéliographes sont utilisés pour mesurer les mêmes intensités partielles; un solarimètre du même type que le solarigraphe est monté directement sur le millivoltmètre ci-dessus, ce qui permet des comparaisons rapides et presque simultanées par un jeu de connexions *ad hoc*.

Le solarimètre permet, au moyen d'un écran cache-soleil qui intercepte les radiations solaires directes tombant sur la pile, la mesure du rayonnement diffusé et réfléchi par la voûte céleste sur une surface horizontale. Cette valeur, très intéressante, mériterait d'être également enregistrée; nous pensons réaliser ce dispositif en plaçant au-dessus d'un solarigraphe un écran déplacé par un mouvement équatorial.

III. Appareil de contrôle

Il est nécessaire de contrôler de temps en temps les appareils à lecture directe et les enregistreurs au moyen d'un appareil aussi indéréglable que possible.

Nous utilisons un pyrhéliomètre à compensation d'Angström Voloshin soigneusement étalonné. Il comprend une pile thermo-électrique, un millivoltmètre très sensible, un milliampèremètre, un rhéostat, un accumulateur (*fig. 5*).

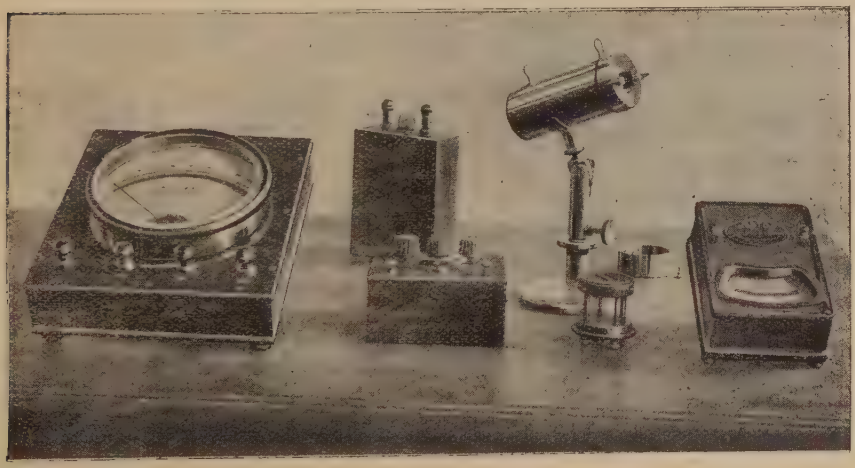


Fig. 5. — Pyrhéliomètre à compensation d'Angström Voloshin.

IV. Mesure du temps

Les millivoltmètres sont mis à l'heure en temps vrai, chaque soir, en changeant les feuilles. Une pendule garde-temps de Leroy (fig. 3) donne l'heure légale; elle est réglée d'après les signaux de T. S. F. Un tableau

placé à côté de la pendule donne, pour chaque jour, la correction à faire pour passer du temps légal au temps vrai. Le calcul de cette correction est facilement effectué chaque année grâce aux indications publiées dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes. Un autre tableau donne les heures de lever et de coucher de soleil.

La pendule Leroy, à contacts électriques toutes les trente secondes, sera utilisée pour actionner les électro-aimants, qui agiront sur les frappeurs des millivoltmètres. Nous pensons également l'employer plus tard pour commander les mouvements des cylindres de tous les appareils, ce qui réalisera leur synchronisme dans les meilleures conditions.

V. Mesure de l'humidité de l'air

Elle est effectuée au moyen d'un psychromètre d'Assmann accompagné de sa table.

VI. Totalisation des courbes

Le calcul de la surface des graphiques des millivoltmètres est réalisé au moyen d'un intégraphe de Richard (*fig. 6*), spécial pour planimétrer ces

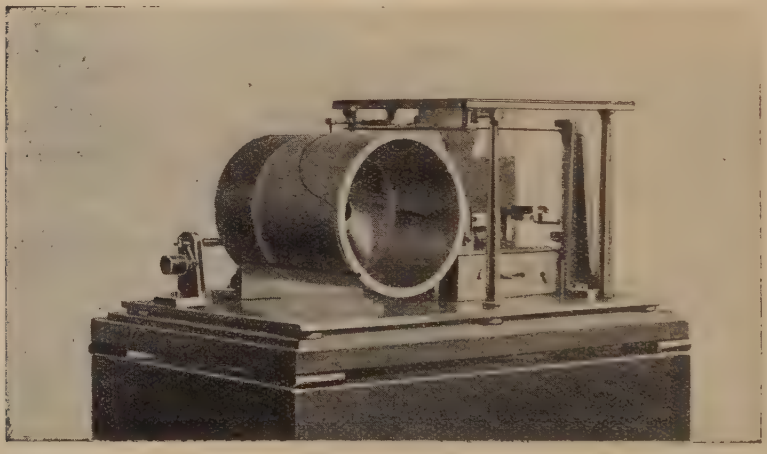


Fig. 6. — Intégraphe de Richard.

courbes à ordonnées curvilignes. Il permet plus de rapidité et de précision que le planimètre ordinaire.

Une machine à calculer complète l'outillage de la Station.

*
* *

L'installation décrite ci-dessus donne, avec une approximation largement satisfaisante pour les besoins des travaux du Service Botanique, les quantités de calories reçues à la surface du sol. Il reste à mesurer les pertes de calories par le rayonnement du sol, problème que nous n'avons pu aborder jusqu'à présent.

Ladislas GORCZYNSKI

Docteur ès Sciences

SUR LES INSTRUMENTS SOLARIMÉTRIQUES ET SPECTROPYRHÉLIOMÉTRIQUES

pour les

MESURES TOTALES, NORMALES ET PARTIELLES DU RAYONNEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION

Dans le présent mémoire sont décrits brièvement une série d'instruments actinométriques dans lesquels l'intensité du rayonnement solaire est mesurée par le courant obtenu au moyen d'un certain nombre de thermo-éléments. Cette série, formant un ensemble d'instruments pour une station actinométrique complète, se compose de :

a) *Solarimètre* à lecture directe ou *solarigraphe* enregistreur, pour les mesures de l'intensité totale (soleil et ciel) sur une surface horizontale, ou seulement du rayonnement diffusé par la voûte céleste seule, en employant un petit écran (cache-soleil);

b) *Pyrhéliomètre* à lecture directe ou *pyrhéliographe* enregistreur, pour mesurer l'intensité des rayons qui viennent normalement du soleil seul;

c) *Spectropyrhéliomètre*, pour l'étude de la distribution de l'énergie solaire dans les différentes parties du spectre ou des spectrographes spéciaux pour une seule partie du spectre (spectrographe infra-rouge, ultra-violet, etc...).

Sous le nom de solarimètre est décrit un petit instrument dans lequel une pile thermo-électrique (hermétiquement close sous un verre hémisphérique spécial, dans un air desséché) est directement reliée à un galvanomètre (millivoltmètre) approprié, placé dans la même boîte.

La lecture de la déviation de l'aiguille galvanométrique de cet instrument donne immédiatement la valeur instantanée de l'intensité du rayonnement venant non seulement du soleil, mais aussi diffusé par toute la voûte céleste et parvenant à la surface horizontale représentée par la pile. Au moyen d'un petit dispositif attaché à la pile même (un écran « cache-soleil »), on peut mesurer séparément le rayonnement diffusé, ce qui représente un élément très important dans la météorologie et par trop négligé jusqu'ici.

Pour les mesures de l'intensité du rayonnement solaire seul, venant dans la direction normale, on emploie un tube spécial muni de viseur et contenant la même pile nue. En plaçant ce tube sur un support pouvant

être dirigé normalement vers le soleil, on obtient un petit pyrhéliomètre thermo-électrique relié directement à la boîte solarimétrique.

Au lieu des lectures directes, on peut faire l'enregistrement (pyrhéliographes ou solarigraphes); on peut aussi obtenir séparément l'intensité des rayons violets et ultra-violets et des rayons infra-rouges, en employant des écrans spéciaux, par exemple un verre noir ou des cuves avec des solutions spéciales.

Au lieu de ces écrans, on se sert de spectrographes spéciaux pour l'étude plus précise et beaucoup plus détaillée de la distribution de l'énergie solaire dans les différentes parties du spectre. Quelques détails de ces spectrographes sont décrits dans le présent mémoire.

Les instruments actinométriques, surtout les solarimètres, si simples à manier, présentent un intérêt spécial non seulement pour les stations météorologiques, botaniques et agricoles, mais aussi pour la climatologie médicale, surtout dans les colonies et en général dans les pays ensoleillés ou chauds. Comme exemple frappant du grand besoin d'appareils solaires simples dans les pays tropicaux, on peut citer l'emploi fréquent des thermomètres dits de radiation (avec boule de verre noircie, dans le vide) ou des « actinomètres » basés sur la distillation des liquides, bien qu'on connaisse leurs très graves défauts au point de vue physique et météorologique.

Notons que les solarimètres spéciaux, munis de verres noirs, d'écrans colorés ou de cuves en quartz contenant des solutions spéciales, présentent quelques applications très intéressantes pour les médecins (actinothérapie), pour les problèmes de l'acclimatation des plantes et des animaux et aussi pour la photographie et la cinématographie, comme indicateurs exacts du temps d'exposition.

Au sujet des différents noms que l'on donne aux instruments actinométriques, notons que, d'après la vieille nomenclature proposée par feu le professeur Crova, on a distingué les actinomètres, instruments relatifs ayant une échelle arbitraire et nécessitant un étalonnage, et les pyrhéliomètres, représentant les actinomètres soi-disant absolus.

Par contre, on ne fait ici aucune différence et on emploie le même nom pour les appareils destinés à mesurer le rayonnement solaire à l'incidence normale et pour ceux qui reçoivent le rayonnement total du soleil et de toute la voûte céleste sur une surface horizontale. Pour éviter cet inconvénient, nous nous servons dans le présent mémoire d'une nomenclature modifiée dans laquelle on englobe sous le nom général d'*actinomètres* tous les instruments destinés aux mesures du rayonnement solaire en général, sans distinguer s'ils s'appliquent au rayonnement total, normal, ou séparent les différentes parties du spectre.

Les actinomètres se divisent, d'autre part, en pyrhéliomètres, solarimètres et spectropyrhéliomètres d'après le schéma suivant :

Actinomètres : tous les instruments pour les mesures du rayonnement solaire, normal ou total, ou dans les différentes régions du spectre.

Les instruments actinométriques se subdivisent ainsi :

1° Pour le rayonnement direct du soleil sous l'incidence normale :

pyrhéliomètre, à lecture directe,
pyrhéliographe, enregistreur;

2° Pour le rayonnement total du soleil et de la voûte céleste, tombant dans toutes les directions sur une surface déterminée, généralement horizontale :

solarimètre, à lecture directe,
solarigraphe, enregistreur;

3° Pour les mesures du rayonnement dans les différentes parties du spectre, on se sert de :

spectropyrhéliomètre, à lecture directe,
spectropyrhéliographe, enregistreur.

Les spectropyrhéliographes peuvent être établis pour toutes les parties du spectre solaire dans l'atmosphère terrestre ou plus spécialement pour l'infra-rouge, pour l'ultra-violet, etc...; on peut les appeler plus simplement *spectrographes infra-rouges*, *ultra-violets*, etc...

Le nom de pyranomètres pourrait convenir aux instruments destinés principalement aux mesures du rayonnement diffusé. Pour le rayonnement dit nocturne, on pourrait réserver le nom déjà connu de pyrgéomètres.

I. DIFFÉRENTES MÉTHODES EMPLOYÉES POUR LES MESURES DE L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT

Il est évident qu'aussi bien pour le progrès de l'actinométrie en général que pour toutes les applications du rayonnement solaire ou artificiel, il faut avant tout disposer d'instruments appropriés pour effectuer et rassembler, dans les différentes régions, des séries de mesures comparables entre elles et ayant une précision connue. C'est la première étape qu'il faut suivre toujours pour approfondir la vérité scientifique et pour établir une base solide qui permette de développer toutes les applications pratiques.

Les principales méthodes employées jusqu'ici pour les mesures précises de l'intensité du rayonnement solaire sont basées, soit sur l'application des thermomètres ordinaires, soit sur les mesures de la déformation des lames bi-métalliques, soit enfin sur des procédés électriques, et tout spécialement sur l'emploi des thermo-éléments.

Comme représentant de la série ancienne des actinomètres relatifs ou absolus (ces derniers appelés pyrhéliomètres, d'après la vieille nomenclature de Crova), on peut citer le pyrhéliomètre de Pouillet, qui date de 1837. Dans cette série des instruments actinométriques, basée sur l'application des thermomètres à mercure, on mesure la vitesse du refroidissement du corps thermométrique chauffé tout d'abord directement par le soleil. L'appareil de Pouillet fut amélioré par l'Américain Abbot dans son pyrhéliomètre à disque d'argent créé au commencement du siècle présent.

On accorde au pyrhéliomètre d'Abbot (lequel, malgré son nom, ne représente qu'un appareil relatif) l'avantage d'avoir un coefficient d'étalonnage assez stable; par contre, il ne donne pas les valeurs instantanées, mais seulement les moyennes pendant le temps assez long de l'observation. De plus, des corrections multiples et des calculs sont nécessaires pour arriver à la valeur finale, en calories-grammes par exemple.

Les actinomètres basés sur la déformation des lames bimétalliques sont assez simples, mais leurs coefficients dépendent beaucoup des variations de la température ambiante.

Il semble que c'est bien à la méthode thermo-électrique, employée à Montpellier déjà avant 1890, dans le pyrhéliographe construit par le professeur Crova, qu'appartient l'avenir de l'actinométrie.

Dans cette catégorie des instruments basés sur des procédés électriques, mentionnons tout d'abord le pyrhéliomètre d'Angström, à compensation, dans lequel la radiation provoque un faible courant thermo-électrique constaté au moyen d'un simple galvanomètre à aiguille. Cet effet du rayonnement solaire est compensé ensuite par un courant introduit exprès et mesuré au moyen d'un milliampèremètre.

Le principe de compensation électrique est sans doute excellent et il est à souhaiter que ce pyrhéliomètre soit toujours employé comme l'instrument normal de contrôle. Mais il n'est pas assez pratique pour l'usage courant, surtout pour des observateurs peu expérimentés, et — ce qui est grave au point de vue pratique — il ne se prête pas à l'enregistrement.

Le principe thermo-électrique est employé dans les appareils récemment décrits par MM. Kimball, Marvin, Linke et Henry.

Nous ne parlons pas ici des différents actinomètres basés sur l'application des thermomètres avec les boules noircies, exposées directement au soleil, ou sur les mesures de la quantité de liquide vaporisée dans l'air raréfié. Ces instruments sont certainement simples, mais trop peu étudiés encore, et surtout présentent des objections très sérieuses au point de vue physique et météorologique.

Passons maintenant à la description de quelques appareils nouvellement construits et basés uniquement sur le principe thermo-électrique dans sa forme la plus pure. Comme nous le verrons, certains de ces instruments, comme les solarimètres, par exemple, sont non moins simples que les thermomètres à boule noircie ou autres actinomètres analogues à boule bleue ou blanche, sans toutefois présenter leurs graves défauts au point de vue physique et météorologique.

Solarimètres

Les solarimètres à lecture directe ou enregistreurs (solarigraphes) représentent des instruments très simples, destinés à donner immédiatement les valeurs instantanées de l'intensité du rayonnement venant non seulement directement du soleil, mais aussi de l'ensemble de la voûte céleste, par diffusion et réflexion.

Tandis que les pyrhéliomètres mesurent l'intensité du rayonnement du soleil seul, sur une surface exposée normalement à ses rayons, les solari-

mètres donnent l'intensité du soleil et du ciel sur la surface horizontale de la terre.

Les solarimètres sont particulièrement adaptés à l'usage des stations météorologiques, même les plus modestes, en raison de leur extrême simplicité. Ils permettent de réaliser le désir unanime des météorologistes d'introduire les mesures solaires dans la série des observations journalières, au même titre que la température de l'air, la pression barométrique, la direction et la vitesse du vent, etc..., etc...

Les solarimètres contiennent les piles thermo-électriques. La pile se trouvant dans la boîte du solarimètre (voir *fig. 1*) est montée dans un cy-

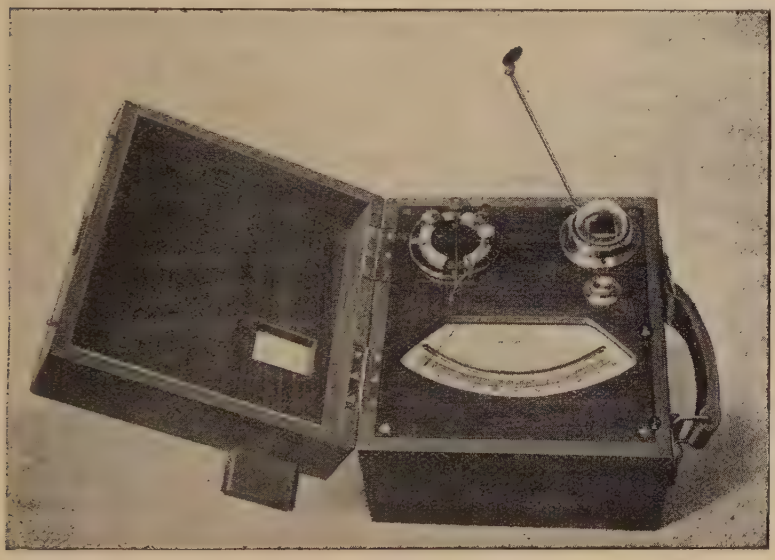


Fig. 1. — Solarimètre

lindre de laiton et recouverte par un verre hémisphérique spécial. Elle est enfermée hermétiquement dans un air préalablement bien desséché.

Cette pile, spécialement construite pour l'usage solarimétrique, est basée sur le principe de Moll (1); c'est-à-dire qu'une masse métallique relativement très importante par rapport à celle de la pile seule (qui n'a que quelques millièmes de millimètre d'épaisseur) est soudée individuellement à chaque thermo-élément. Ceci permet d'exposer la pile, sans inconvénient, dans toute sa longueur, à l'action du rayonnement.

Il a fallu, pour l'usage solarimétrique, choisir une pile qui réunît à une sensibilité suffisante une résistance aussi petite que possible pour

(1) Voir dans le chapitre suivant, consacré aux pyrhéliomètres et pyrhéliographes, quelques détails concernant les piles thermo-électriques en général.

qu'elle puisse être employée avec des millivoltmètres du type courant. La récente pile solarimétrique est composée d'éléments de manganine constantan, assemblés en forme de rectangle; elle a une résistance intérieure d'environ 8 ohms, et les interstices entre éléments sont remplis par une couche uniforme d'un vernis spécial. Cette circonstance est très importante dans l'usage solarimétrique, car les piles, avec les thermo-éléments disposés séparément, donnent des coefficients de réduction légèrement variables suivant la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

La pile solarimétrique est reliée intérieurement avec le cadre mobile d'un millivoltmètre approprié. La réunion, dans un seul appareil de mesure, de la partie thermo-électrique et d'un galvanomètre présente un trait bien caractéristique et spécial au solarimètre.

Il en résulte une grande simplicité dans la manipulation de l'appareil; on peut ainsi lire instantanément la déviation de l'aiguille sous l'influence de la radiation dès que le couvercle de la boîte est ouvert (1).

La déviation de l'aiguille sur l'échelle galvanométrique, allant de 0 à 100, est proportionnelle à l'intensité du rayonnement. En multipliant le nombre des divisions lu sur l'échelle par les coefficients de réduction (généralement par 0,03 ou 0,02), on obtient immédiatement les intensités en calories-grammes par centimètre carré et minute.

Avec les solarimètres, on obtient très facilement les valeurs du rayonnement diffusé par la voûte céleste, au moyen d'un petit écran (visible dans la figure 1 (cache-soleil)), qu'on dispose convenablement entre la pile solarimétrique et le soleil pour éliminer les rayons solaires directs. On obtient ainsi les valeurs du rayonnement diffusé, lesquelles varient généralement autour de 10 %, vers midi, en été, par temps clair sans nuages. Les nuages blancs et surtout les grands cumuli peuvent augmenter très considérablement la proportion du rayonnement diffusé, qui n'a jamais été suffisamment étudié et dont le rôle est très important.

Pyrhéliomètres thermo-électriques

Quoique les solarimètres soient établis tout d'abord pour le rayonnement venant du soleil et du ciel sur une surface horizontale, on peut les adapter immédiatement pour les mesures de l'intensité des rayons parvenant normalement du soleil.

Pour cet usage, on relie le solarimètre (voir *fig. 1 bis*) à un tube pyrhéliométrique sur un support spécial. Les connexions sont établies de manière qu'en déplaçant les vis du contact on obtient les valeurs soit du solarimètre seul (surface horizontale), soit du pyrhéliomètre connecté (normalement aux rayons solaires).

Notons que les mêmes piles solarimétriques sont employées pour les observations pyrhéliométriques, avec cette différence, cependant, qu'elles

(1) Les solarimètres sont non seulement simples, mais relativement peu coûteux. Ils sont construits par les Etablissements de la Société J. Richard à Paris; la boîte solarimétrique est livrée aussi avec le tube pyrhéliométrique, placé sur un petit support pour obtenir l'intensité sous l'incidence normale aux rayons solaires.

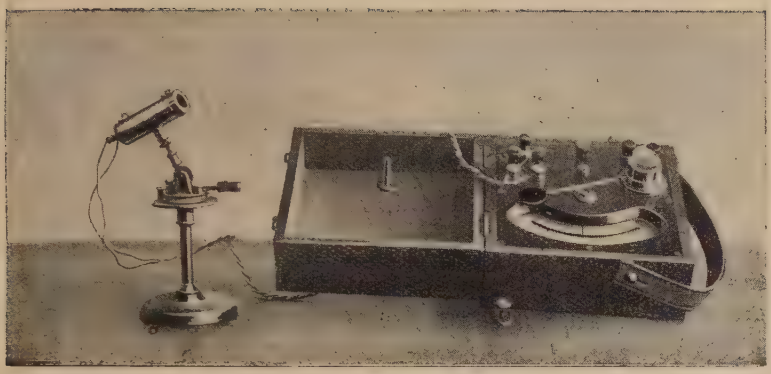


Fig. 1 bis. — Pyrhéliomètre et Solarimètre connectés avec le même millivoltmètre à lecture directe

ne sont pas protégées par un verre hémisphérique, mais par une lentille sphéro-cylindrique placée à l'autre extrémité du tube. L'emploi du verre plan pourrait suffire; mais une lentille sphéro-cylindrique est très utile, permettant de concentrer sur une ligne lumineuse les rayons juste là où se trouvent les soudures actives. Il en résulte aussi une augmentation notable des déviations obtenues sur l'échelle galvanométrique et une plus grande rapidité du mouvement de l'aiguille.

En connexion avec le tube, on peut employer les écrans solaires, notamment un verre noir (dit « de marbre ») opaque pour les rayons visibles, mais bien transparent pour l'infra-rouge. Suivant son épaisseur, il laisse passer un quart environ de l'intensité totale du rayonnement solaire. En employant un verre rouge spécial, on augmente cette proportion jusqu'à la moitié de l'énergie transmise.

Pour les rayons plus courts du spectre (violet et ultra-violet), on emploie de petites cuves (en quartz ou en verre spécial) remplies avec une solution de sulfate de cuivre ou avec d'autres substances.

Notons qu'en prenant une solution de 30 grammes de sulfate de cuivre pur dans 100 grammes d'eau, on élimine pratiquement toute la partie infra-rouge et la plupart des rayons visibles. Une telle cuve suffisamment épaisse ne laisse passer que les rayons violets et voisins; le filtre violet ainsi obtenu donne seulement la partie du spectre du côté des ondes courtes, tandis que l'écran « infra-rouge » (un verre noir opaque pour l'œil) ne laisse passer que les ondes plus grandes, invisibles déjà pour nos yeux.

Montage des connexions et étalonnage des Solarimètres avec des tubes pyrhéliométriques

Les observations solarimétriques sont extrêmement simples. Il suffit pour cela de placer le solarimètre à peu près horizontalement, de lire la position du zéro (par une petite ouverture dans le couvercle fermé) et de

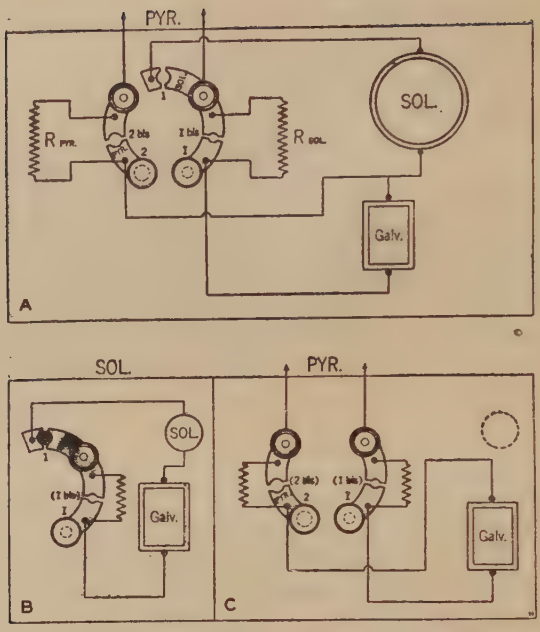


Fig. 2. — Solarimètre (montage des connexions)

Explication des signes

A. Premier diagramme (supérieur) :

SOL. : Pile solarimétrique sous un verre hémisphérique (close hermétiquement dans l'air sec).

GALV. : Aimant avec cadre mobile et une aiguille.

1, 2, 2 *bis* : Différentes positions de la vis de contact (grande vis).

I, I *bis* : Même pour la petite vis de contact. Les positions I et 2 présentent les places neutres sans connexions électriques.

R. sol, R. pyr..... : Résistances additionnelles pouvant être éliminées si les vis sont déplacées de I à I *bis* et de 2 à 2 *bis*. Deux cercles avec les flèches représentent les bornes pour les connexions avec le tube pyrhéliométrique.

Connexions pour le solarimètre seul. — Second diagramme, partie gauche (B)
(I et I dans l'usage ordinaire)

Dans l'usage ordinaire, la grande vis de contact est placée à *I*, la petite à I (place neutre). Dans ce cas, la résistance R. sol est introduite dans le circuit solarimétrique.

Déplaçant la petite vis de I à I *bis*, on élimine la résistance additionnelle R. sol ; la résistance R. sol n'est pas grande et sert plutôt pour donner une certaine valeur déterminée au coefficient de réduction.

Connexions pour le circuit pyrhéliométrique. — Second diagramme, partie droite (C)
(2 et I dans l'usage ordinaire)

Les deux vis de contact restent dans leurs positions neutres (2 et I) ; les deux résistances additionnelles R. pyr et R. sol fonctionnent alors dans le circuit. Déplaçant 2 à 2 *bis* et I à I *bis*, on élimine ces deux résistances et, en même temps, on agrandit beaucoup les déviations du galvanomètre. Cette dernière combinaison est utile pour les valeurs faibles de la radiation solaire ou quand on opère avec les écrans solaires. D'autres combinaisons (par ex. 2 *bis* et I) ne présentent pas d'intérêt spécial, et pour chaque combinaison nouvelle la valeur du coefficient de réduction doit être déterminée séparément.

noter ensuite la déviation de l'aiguille du galvanomètre mise en mouvement par le courant de la pile exposée alors au soleil (couvercle complètement ouvert).

La mesure solarimétrique faite, il est bon pourtant de répéter encore une fois la lecture du zéro par l'ouverture du couvercle fermé de nouveau.

Ces deux lectures du zéro peuvent être un peu différentes par suite de l'échauffement léger possible du verre hémisphérique; on prend alors la valeur moyenne de ces deux lectures du zéro et on retranche cette valeur de la déviation du galvanomètre pour obtenir la mesure définitive du solarimètre.

Dans la figure 2, on trouve les détails du montage des connexions de la boîte solarimétrique.

Passons maintenant à l'*étalonnage des solarimètres avec les tubes pyrhéliométriques.*

Les déterminations des coefficients de réduction sont faites par comparaison avec un pyrhéliomètre normal (l'appareil d'Angström par exemple). S'il s'agit du tube pyrhéliométrique relié avec la boîte solarimétrique, on fait simultanément la lecture de l'échelle du solarimètre et la mesure avec un pyrhéliomètre normal. La dernière étant par exemple 1,14 cal. gram. par centimètre carré et minute d'une surface exposée normalement au soleil et 57 présentant le nombre des divisions de l'échelle solarimétrique (reliée avec le tube pyrhéliométrique du solarimètre, les vis de contact étant à 2 et I), il en résulte le coefficient de réduction *0,02*, représentant la valeur en cal. gram. d'une division de l'échelle.

Si les vis de contact sont placées à 2 *bis* et I *bis* (au lieu de 2 et I, comme il est indiqué auparavant), les déviations deviennent proportionnellement plus grandes et les coefficients par conséquent plus petits. La relation entre les valeurs des coefficients dans ces deux cas correspond à la proportion des résistances correspondantes. Le coefficient 0,02 (100 divisions de l'échelle égales à 2,00 cal. gram. par centimètre carré et minute de la surface exposée normalement au soleil) est employé généralement pour le tube pyrhéliométrique (les vis de contact étant à 2 et I). Dans ce cas, si le coefficient est autre que 0,02, on peut facilement le ramener à cette valeur en introduisant en série, avec les fils ordinaires, conduisant au tube pyrhéliométrique, une certaine longueur de fil mince de manganine (1). En changeant convenablement la longueur du fil en question, on arrive vite à obtenir la déviation double par rapport à la valeur simultanée du pyrhéliomètre normal (le nombre en gr. cal. multiplié par 100).

L'étalonnage d'une pile solarimétrique sous un verre hémisphérique est un peu plus compliqué que celle du type pyrhéliométrique. On peut employer deux méthodes pour cela. Suivant la première, on retire le cylindre contenant la pile sous le verre hémisphérique et on le place (dans un tube cylindrique convenable) sur un support analogue à celui de notre tube pyrhéliométrique.

---

(1) Pour faciliter ce réglage, on se sert d'un petit rhéostat introduit dans le circuit du solarimètre ou du pyrhéliomètre, qu'on monte à l'intérieur de la boîte solarimétrique même.

En dirigeant ensuite notre pile (diaphragmée et munie du verre hémisphérique) normalement au soleil, on obtient, par comparaison avec un pyrhéliomètre normal, son coefficient de réduction. Dans la seconde méthode, on laisse la pile dans la boîte solarimétrique, mais on s'arrange (avec un petit dispositif placé à une certaine distance et comportant un disque métallique orientable) de manière que seulement l'intérieur de la pile du solarimètre soit dans l'ombre. La déviation qu'on lit alors sur l'échelle galvanométrique est due uniquement à l'action de la lumière diffuse venant du ciel.

La différence entre la lecture en plein soleil et dans l'ombre est proportionnelle à la valeur obtenue simultanément avec un pyrhéliomètre normal et réduite à la surface horizontale (c'est-à-dire multiplié par le sinus de l'altitude du soleil sur l'horizon).

L'exemple suivant, tiré des séries de mesures effectuées sur la terrasse du Service Botanique Tunisien à l'Ariana, nous montre les détails de ces calculs :

Intensité du rayonnement (soleil et ciel)		Rayonnement réfléchi du ciel seulement (pile dans l'ombre)	
Zéro (avant la mesure)	0,4	Lecture du solarimètre (pile dans l'ombre)	2,9
Lecture en plein soleil	28,0		
Zéro (après la mesure)	0,2	Position du zéro (moyenne des deux lectures)	0,2
	27,7		2,7

Si la valeur de l'intensité du rayonnement (à la surface exposée normalement au soleil) obtenue en même temps avec un pyrhéliomètre normal atteint par exemple 1,17 cal. gr. pour une altitude du soleil égale à 39° 9, on obtient pour le coefficient solarimétrique :

$$K = \frac{1{,}17 \times \text{sin. } 39°9}{27{,}2 - 2{,}7} = 0{,}030$$

Le coefficient 0,03 est obtenu avec la résistance additionnelle R_{sol} introduite dans le circuit solarimétrique (les vis de contact à I et 2). Si cette dernière résistance est éliminée (plaçant les vis de contact à I et 2), le coefficient sera plus petit et voisin de 0,02 généralement.

Si l'on veut un coefficient plus grand ou d'une certaine valeur déterminée, on peut l'obtenir en changeant convenablement la résistance additionnelle R_{sol}. Le procédé le plus simple serait alors d'introduire une longueur convenable d'un fil mince de manganine, en l'attachant (soudant) directement en série avec l'un des fils se trouvant au-dessus du cylindre contenant la pile sous le verre hémisphérique.

Les résistances sont généralement choisies de manière que les coefficients de réduction atteignent 0,03 pour l'usage solarimétrique (intensité du soleil et du ciel sur une surface horizontale) et 0,02 pour l'usage pyrhéliométrique (pile dirigée normalement vers le soleil).

Solarigraphes

Quoique les solarimètres soient construits tout d'abord comme instruments portatifs à lecture directe, ils peuvent être facilement employés pour l'enregistrement permanent. Dans ce cas, la pile solarimétrique (laquelle est close hermétiquement sous un verre hémisphérique) est placée sur un petit support (*fig. 3*) dans une place découverte hors de la maison;

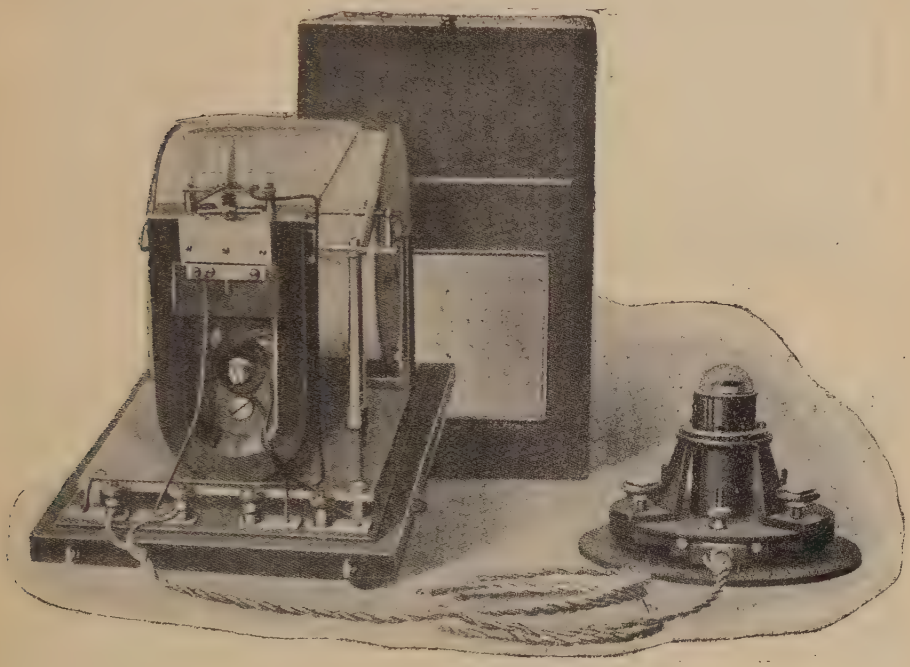


Fig. 3. — Solarigraphe

ladite pile est reliée ensuite avec un galvanomètre enregistreur (millivoltmètre de Richard) qui se trouve dans l'intérieur. Ce galvanomètre à aiguille est de la même forme que celui employé pour les pyrhéliomètres thermo-électriques enregistreurs construits régulièrement depuis 1924. Cependant, les nouveaux galvanomètres enregistreurs employés dans les solarigraphes ont une résistance du cadre mobile beaucoup moins grande que celle employée précédemment dans les pyrhéliographes construits régulièrement par les Etablissements Jules Richard à Paris. Etant donné que la résistance intérieure des piles solarimétriques est de 8 ohms environ, ceci permet d'augmenter considérablement les déviations obtenues actuellement avec le solarigraphe. Même pendant un ciel complètement couvert, on obtient une certaine déviation du galvanomètre enregistreur relié à une pile solarimétrique exposée dehors. Si l'épaisseur ou la transparence des nuages change, on voit les variations correspondantes dans

l'allure des solarigraphes. Une telle courbe (obtenue cependant par un temps clair, avec de petits nuages entre 14 h. 30 et 15 h. 30 qui se traduisent par de légères irrégularités de la courbe pendant ce temps) est représentée dans la figure 4. Comme les pyrhéliomètres thermo-électriques enregistreurs, nos nouveaux solarigraphes possèdent deux ou même trois

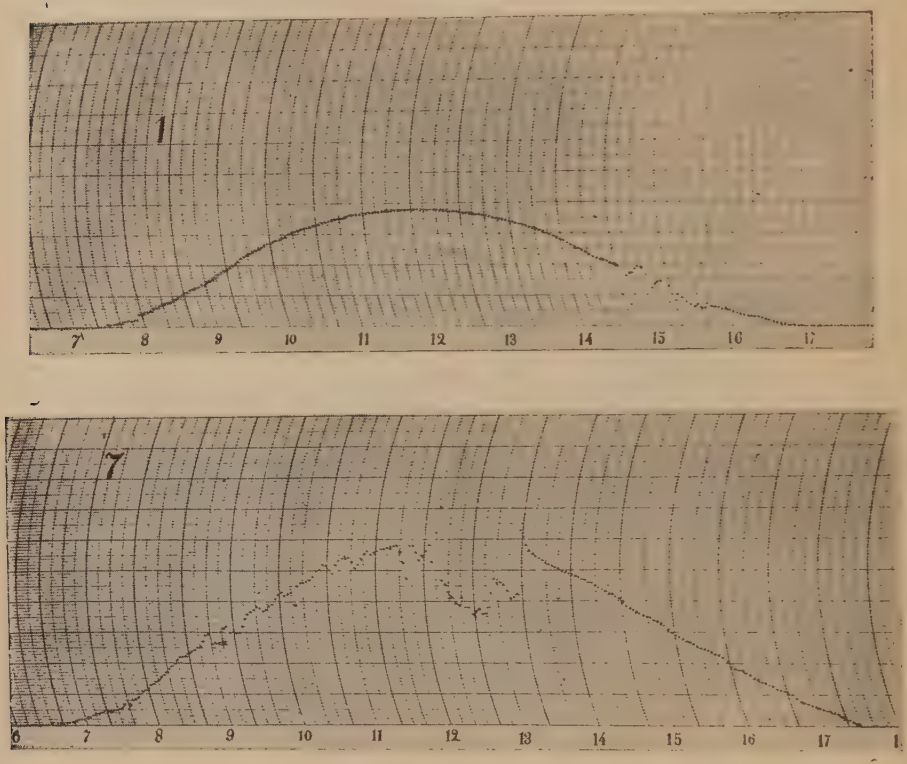


Fig. 4. — Courbes obtenues avec le Solarigraphe

échelles. Il est utile d'employer, surtout pendant les mois d'hiver dans les zones tempérées, l'échelle la plus petite, afin d'obtenir les déviations aussi grandes que possible du galvanomètre. Comme nous l'avons déjà dit, le trait caractéristique du solarimètre et des solarigraphes consiste en ce qu'ils donnent des déviations parfois notables et des courbes intéressantes même pendant un ciel couvert, alors que les pyrhéliomètres ne donnent rien pendant un temps pareil. De même, il arrive que les grands nuages blancs augmentent quelquefois très considérablement les valeurs solarimétriques sous l'action des rayons réfléchis. L'influence de ce rayonnement diffusé par l'atmosphère est très grande à tous points de vue.

Ajoutons qu'il est parfaitement possible d'utiliser les solarigraphes pour

l'enregistrement non seulement de la radiation totale, mais aussi des rayons dans les parties séparées du spectre, en utilisant les écrans colorés correspondants.

De même, on peut employer l'installation solarigraphique pour l'enregistrement du rayonnement diffusé par la voûte céleste. Dans ce but, on utilise le même écran « cache-soleil » décrit plus haut et qu'on trouve dans les boîtes solarimétriques (voir fig. 1); mais, dans notre cas, pour enregistrer le rayonnement diffusé, on place le disque qui cache le soleil non sur une tige attachée directement à la pile solarimétrique et qu'on déplace à la main, mais une petite monture équatoriale. Ainsi le disque se déplace automatiquement suivant la position du soleil et de manière que notre pile solarimétrique reste constamment à l'abri des rayons venant directement du soleil.

Mentionnons enfin que bien que la première description des solarigraphes ait paru seulement dans le fascicule de septembre 1926 de la *Revue Mensuelle du Bureau Météorologique à Washington*, les premières mesures solarigraphiques ont été commencées à l'Ariana, près Tunis, déjà au printemps de 1925, grâce à l'initiative de M. Bœuf, l'éminent directeur du Service Botanique de Tunisie.

Le premier solarigraphe avait forcément certains défauts, éliminés successivement :

a) en remplaçant la grande pile de Moll par une pile solarimétrique spéciale avec les interstices des thermo-éléments soigneusement remplis;

b) par l'usage d'un verre spécial d'une surface travaillée optiquement des deux côtés et rigoureusement hémisphérique;

c) par la fermeture hermétique de l'ensemble de la pile spéciale sous un verre hémisphérique dans un air préalablement bien desséché, pour éviter toute condensation de buée à l'intérieur de ce verre.

Le deuxième solarigraphe, comportant aussi une grande pile de Moll dans une monture non hermétique, fut livré par la Société Richard, de Paris (en automne 1925, paraît-il), à l'Observatoire de la Havane (Cuba).

Vu surtout la fermeture non hermétique de la pile et la disposition de ses thermo-éléments avec les interstices non remplis, ce solarigraphe ne se prête pas aux mesures totales, surtout dans le climat humide de l'île de Cuba. Cela est d'autant plus à regretter que des mesures et même des comparaisons ont été faites avec ce solarigraphe encore défectueux dont les coefficients ont dû constamment changer suivant le degré de la condensation à l'intérieur du verre et suivant l'altitude variable du soleil au-dessus de l'horizon.

Ecrans solarimétriques pour les intensités partielles du rayonnement solaire

Les solarimètres à lecture directe ou enregistreurs destinés à l'usage avec les écrans solaires ont des verres hémisphériques spéciaux.

Dans ce cas — au lieu d'un verre blanc transparent, généralement du flint très dense qui transmet parfaitement non seulement les rayons visibles, mais presque tout l'infra-rouge solaire — on emploie notamment :

1° un verre hémisphérique noir (dit « verre de marbre »), qui arrête complètement les rayons visibles, mais qui laisse passer pratiquement tout l'infra-rouge solaire;

2° un verre hémisphérique rouge (verre d'Iéna) qui laisse passer non seulement la partie infra-rouge, mais aussi les rayons visibles (à partir du jaune seulement) ;

3° une large cuvette hémisphérique à double paroi, remplie intérieurement avec de l'eau distillée. Cette cuvette arrête les rayons infra-rouges, laissant passer, jusqu'à la pile solarimétrique, les rayons visibles seulement et le peu d'ultra-violet voisin;

4° une cuvette hémisphérique à double paroi, remplie d'une solution de 30 grammes de sulfate de cuivre ($CuSO^4$) dans 100 grammes d'eau distillée. Cette cuvette violette ne transmet, outre les petites longueurs d'ondes, que très peu de rayons infra-rouges (dans les environs de 2 microns).

Notons que, pour l'usage solarimétrique, le diamètre intérieur du verre hémisphérique blanc, rouge ou noir, qui couvre la pile, ne doit pas être plus petit que 50 millimètres, avec une épaisseur de $1^{m/m}$ environ. Si l'on emploie des verres plus petits ou plus épais, le coefficient du solarimètre augmente surtout quand la hauteur du soleil diminue ou dépasse, par exemple, 30° au-dessus de l'horizon.

L'écran contenant une cuvette remplie avec de l'eau distillée est particulièrement utile pour couper toute la partie infra-rouge du spectre; on mesure alors l'intensité de la partie visible du spectre seulement avec l'addition de l'ultra-violet solaire transmis par le verre de la cuvette.

Ce dernier représentant une portion bien petite de l'énergie totale, notre écran permet d'étudier l'effet de la luminosité des rayons solaires, ce qui présente des applications très intéressantes pour l'industrie d'éclairage.

C'est feu le professeur K. Angström qui a déjà préconisé l'emploi des écrans pareils; mais il importe de noter ici que l'épaisseur de la couche d'eau doit être de l'ordre de quelques centimètres, comme il résulte du tableau suivant, extrait des travaux de S. Langley, E. Aschkinass et W. Schmidt :

Répartition spectrale de l'énergie solaire transmise par les couches d'eau des différentes épaisseurs (en % de l'énergie qui arrive à la surface d'eau)

Longueurs d'ondes en microns	Epaisseurs des couches d'eau en centimètres						
	0	0.01	0,1	1	10	100	1000
0,2 0,6	24	24	24	24	24	23	17
0,6 0,9	36	36	36	35	30	13	1
Infra-rouge							
0,9 1,2	19	18	17	12	1		
1,2 1,5	9	8	6	2			
1,5 2,1	10	7	3				
2,1 3,0	2	2					
	100	95	86	73	55	36	18

Il résulte de ce tableau qu'au fur et à mesure de l'augmentation de la couche d'eau, l'étendue du spectre solaire diminue considérablement. Pour une couche de 1 centimètre d'épaisseur, il n'y a plus de longueur d'ondes dépassant 1,5 micron. Une couche d'eau profonde de 1 mètre arrête complètement l'infra-rouge, mais déjà une couche de 10 centimètres ne laisse passer pratiquement que les rayons visibles (avec un peu de l'ultra-violet, ce qui n'est pas important pour la question de la luminosité).

Pour les cuvettes hémisphériques à double paroi, les diamètres et les épaisseurs doivent être sensiblement plus grands que pour les verres blancs transparents ou colorés. Par exemple, pour une cuvette bleue, remplie avec du sulfate de cuivre, une épaisseur de 10 à 15 $^{m/m}$ est convenable, tandis que, pour la cuvette hémisphérique remplie avec de l'eau distillée, une épaisseur de 10 centimètres environ est plutôt indiquée Il est évident que les diamètres intérieurs et extérieurs des cuvettes en question peuvent atteindre ainsi jusqu'à 25 centimètres ou même plus pour l'usage solarimétrique.

Notons aussi que les solarimètres munis de cuvettes violettes sont particulièrement intéressants pour les médecins pratiquant l'Actinothérapie; d'autre part, ces cuvettes, choisies convenablement pour les différentes sortes de plaques photographiques, sont importantes pour évaluer le temps d'exposition dans l'usage photographique et, surtout, dans la pratique cinématographique.

Quant aux solarimètres munis de cuvettes transparentes remplies avec de l'eau distillée, ils sont très utiles pour les ingénieurs et en général pour la technique d'éclairage.

Pyrhéliographes

Tandis que les solarimètres et les solarigraphes sont destinés à recevoir le rayonnement venant non seulement du soleil, mais aussi les rayons diffusés et réfléchis par toute la voûte céleste et dans toutes les directions sur une surface horizontale, les pyrhéliographes thermo-électriques sont construits pour recevoir, sous l'incidence toujours normale, les rayons directs du soleil. Ceci présente un avantage sérieux au point de vue de la comparabilité de mesures, bien que, dans certains cas (pour les études climatologiques, botaniques et agricoles, etc..), c'est plutôt la radiation totale sur une surface horizontale qui présente l'intérêt le plus grand.

Pour la construction de nos pyrhéliographes, nous avons utilisé jusqu'ici les piles de grande surface de Moll. Pour se rendre plus facilement compte de l'avantage de ces excellentes piles, lesquelles — contrairement à ce qu'on trouve pour les solarigraphes — n'ont pas besoin de modifications pour l'usage pyrhéliographique, rappelons les principales difficultés qui ont jusqu'ici empêché l'emploi courant des différentes autres piles thermo-électriques, connues pourtant depuis plusieurs années.

Dans l'usage pyrhéliométrique des piles, il faut tenir compte des quatre conditions suivantes :

1° *Sensibilité.* — La sensibilité qu'il a été possible d'obtenir jusqu'ici avec les thermo-éléments ou les piles n'était pas en général suffisante

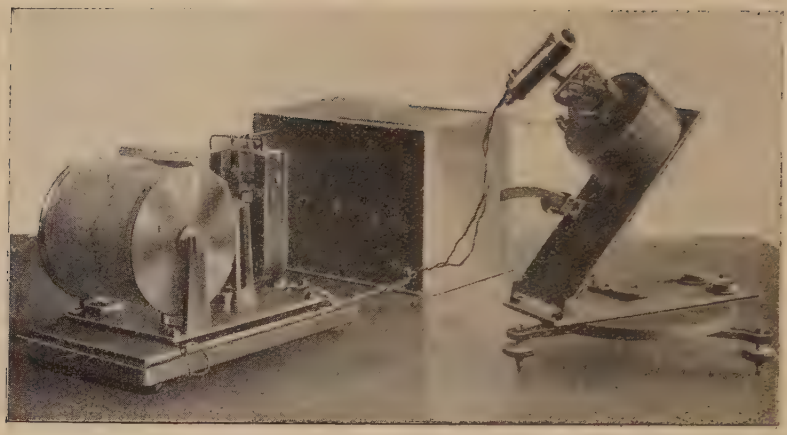


Fig. 5. — Pyrhéliographe thermo-électrique, modèle 1924

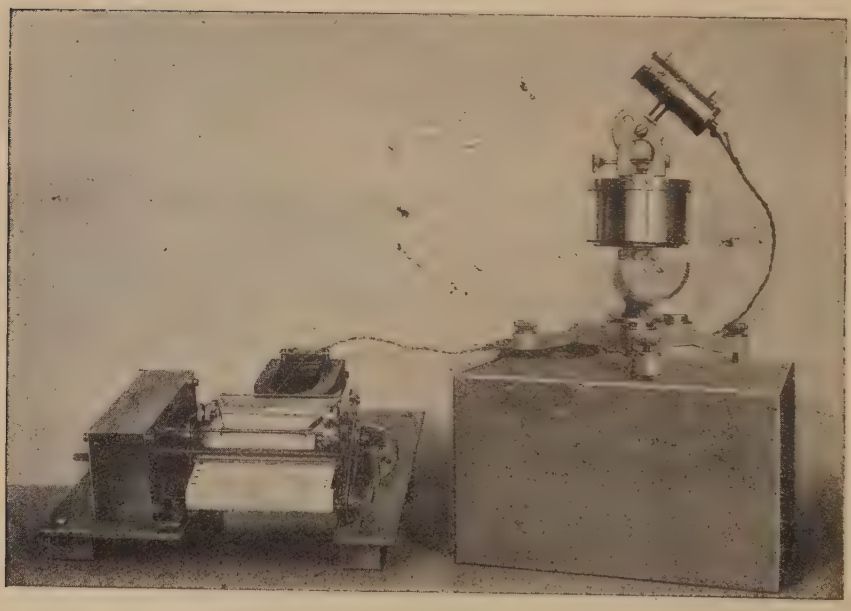


Fig. 5 bis. — Pyrhéliographe thermo-électrique, modèle 1928

pour permettre l'usage des millivoltmètres ordinaires au lieu des procédés délicats des galvanomètres à miroir, par exemple. Dans quelques cas où l'on a réussi à obtenir une sensibilité plus grande, c'était plutôt aux dépens de la rapidité d'action;

2° *Fixité du zéro.* — Les piles thermo-électriques ne doivent pas présenter de variations du zéro, mais être affranchies de cette source d'erreurs;

3° *Rapidité d'action.* — Les piles ou thermo-éléments employés jusqu'ici n'étaient pas généralement assez robustes pour se prêter à l'emploi pratique. En outre, le plus souvent, leur construction était trop compliquée pour l'usage courant et trop fragile pour le transport.

Les conditions énumérées plus haut sont remplies d'une manière presque parfaite par les piles thermo-électriques du type Moll.

L'idée principale qui a guidé la construction des piles en question est de réduire au minimum la capacité thermique des soudures actives appelées souvent « chaudes », en donnant la plus grande capacité possible aux soudures passives « froides ». Les thermo-éléments établis d'après ce principe se composent de lames extrêmement minces, de $0^{mm}005$ environ, de manganine et de constantan, qui sont soudées à des supports en cuivre relativement très massifs.

Grâce à cet arrangement, ces lames peuvent être exposées à l'effet du rayonnement dans toute leur longueur. La bonne conductibilité de la chaleur entre les soudures et la capacité thermique presque insignifiante de la lame déterminent un équilibre de la température dans un intervalle de temps inférieur à deux secondes. La combinaison du manganine et du constantan se distingue par sa grande inaltérabilité et peut être considérée comme indépendante des variations de la température. Dans la figure 5 est présentée la vue générale de notre pyrhéliographe thermo-électrique, construit en 1924 par les Etablissements de la Société Jules Richard, à Paris. On a ensuite amélioré cette construction grâce à l'application des petits tubes pyrhéliométriques combinés avec la pile solarimétrique et aussi grâce à la construction des millivoltmètres enregistreurs spéciaux de la même Société Richard, qui donnent une déviation bien plus grande de l'aiguille avec le cadre du galvanomètre, ayant une résistance beaucoup plus faible par rapport aux galvanomètres enregistreurs du type industriel utilisé auparavant.

Le choix du galvanomètre à aiguille (connu le plus souvent sous le nom de millivoltmètre), bien adapté pour les piles thermo-électriques, est une question très importante et même vitale au point de vue de l'usage courant.

Il ne faut pas que l'introduction du galvanomètre altère de manière appréciable la rapidité de la pile, ni la fixité du zéro; d'autre part, il est particulièrement important qu'il donne les déviations aussi grandes que possible et qu'il soit de construction simple et robuste. Notons qu'une amélioration nouvelle s'obtient avec l'emploi de galvanomètres (millivoltmètres) enregistreurs multiples, permettant d'obtenir deux ou plusieurs courbes sur la même feuille. Dans ce modèle (*fig. 5 bis*), tout récemment

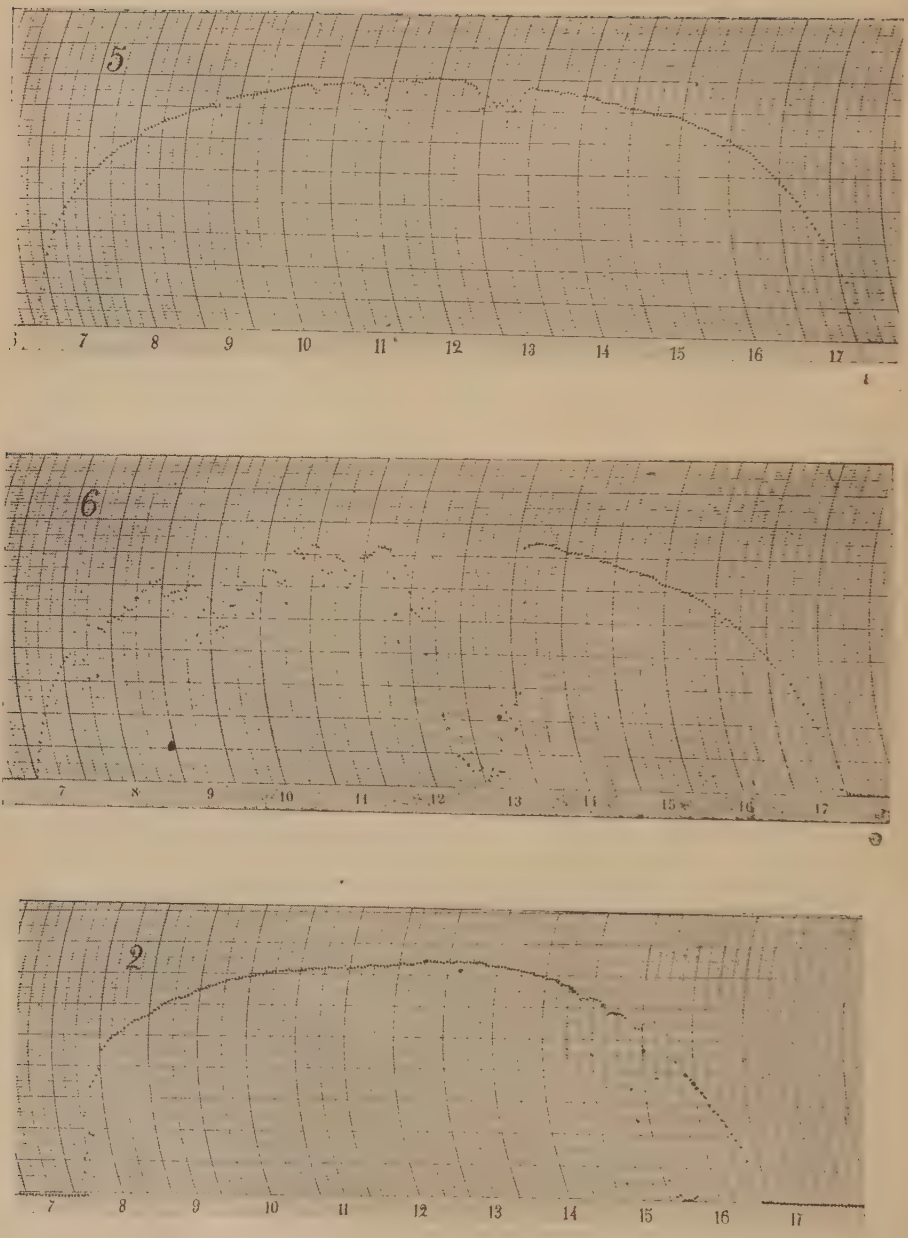


Fig. 6. — Trois courbes obtenues avec un pyrhéliographe

établi par la Société Richard, et tout à fait différent du modèle ancien, l'enregistrement par pointes est obtenu non par une plume remplie d'encre, mais par un dispositif spécial analogue à celui d'usage courant dans les machines à écrire; ce dispositif actionné ici par un mouvement d'horlogerie (ou un contact électrique fermé périodiquement) autre que celui du grand cylindre portant les diagrammes avec les coordonnées rectilignes.

Grâce à ce nouveau modèle de millivoltmètre enregistreur, on peut obtenir sur le même diagramme deux courbes (par pointes ou couleurs différentes) correspondant aux indications d'un pyrhéliographe et d'un solarigraphe enregistrant ensemble. Ce nouveau procédé, non seulement facilite la comparaison de ces deux instruments, mais rend moins chère l'acquisition d'une station actinométrique complète.

Dans les *figures 6* et 7 sont reproduites cinq courbes obtenues avec un pyrhéliomètre thermo-électrique; les deux dernières nous donnent les intensités partielles du rayonnement solaire qui a passé un écran infra-

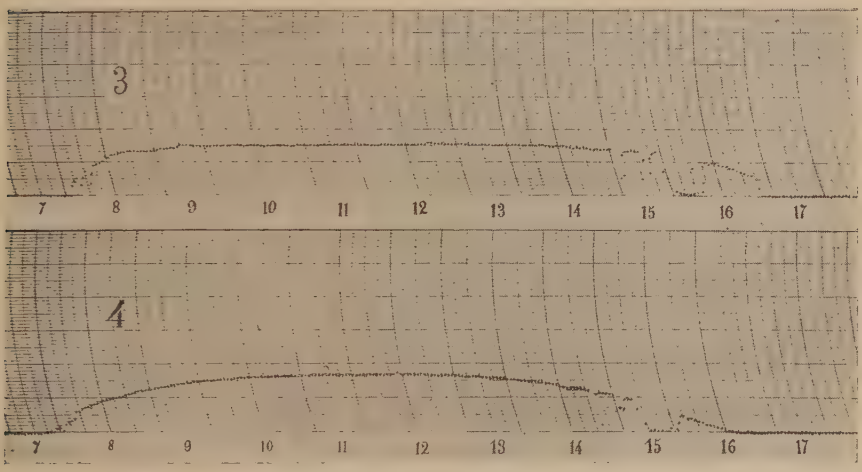


Fig. 7. — Courbes pyrhéliographiques obtenues avec les écrans : infra-rouge (en haut), bleu (en bas)

rouge dans la première courbe et un écran bleu dans la seconde. Les écrans en question, mentionnés déjà plus haut, sont décrits plus en détail dans le chapitre suivant.

II. MESURES SPECTROPYRHÉLIOMÉTRIQUES

Quelques remarques concernant les mesures spectrales :

Dans ces derniers temps, la question des mesures de l'intensité dans les différentes parties du spectre solaire est souvent posée et discutée par suite, non seulement de son importance pour la vie physique et météoro-

logique de notre planète, mais aussi grâce aux applications pratiques très intéressantes de certains rayons.

On sait que dans le spectre solaire il y a des rayons violets et surtout ultra-violets, qui sont susceptibles de guérir certaines maladies. Il est prouvé que, dans les régions convenables, sur les montagnes principalement, le simple fait d'être exposé, pendant un temps suffisant, à l'action de ces rayons peut épargner au malade une opération chirurgicale ou un traitement long et coûteux. On sait depuis longtemps aussi que la cure au soleil est profitable aux tuberculeux; il en est de même des rayons rouges et infra-rouges pour guérir la variole.

D'autre part, les mesures du rayonnement ultra-violet et des rayons visibles qui impressionnent les plaques photographiques permettent de doser plus sûrement le temps d'exposition pour les photographies et les films cinématographiques.

L'examen spectographique des lunettes que portent beaucoup de personnes à vue faible ou défectueuse devrait être obligatoire, comme certaines vaccinations ou les règlements sanitaires.

Est-ce que la protection des yeux humains, surtout dans les pays chauds ou ensoleillés, n'est pas indirectement équivalente à l'épargne de sommes relativement considérables ?

Si les rayons ultra-violets sont extrêmement importants pour la médecine, les rayons infra-rouges ont des applications très intéressantes pour l'art militaire (signaux invisibles), pour la marine (signaux et voisinage d'icebergs), pour l'aviation (orientation pendant la brume). On comprend que, pendant les opérations militaires (pendant la guerre), les signaux visibles ou par T. S. F. ne sont pas toujours utilisables. On couvre alors un projecteur d'un écran de verre noir qui, quoique complètement opaque pour les rayons visibles, est transparent pour les rayons infra-rouges. Ces derniers peuvent être reçus à plusieurs kilomètres de distance par des dispositifs thermo-électriques sensibles reliés à des galvanomètres, ou plus simplement produisent directement des traits visibles sur un écran fluorescent. En interceptant ce rayonnement invisible du projecteur pendant des périodes plus ou moins longues, on obtient des points et des traits comme dans la télégraphie ordinaire.

Les végétaux sont encore plus influencés que les animaux, pendant leur croissance, par les divers éléments de la radiation solaire. L'utilité pratique de la mesure de l'énergie rayonnante du soleil est évidente pour établir les conditions dans lesquelles peut être réalisée l'acclimatation des plantes; la transparence des verres pour les divers rayons est une condition essentielle de succès pour les cultures en serres ou sous châssis vitré.

Il est démontré, par des séries d'expériences faites surtout en Amérique du Nord, que le choix convenable du verre pour les serres est une condition essentielle pour les résultats qu'on obtient avec les cultures en question. Il faut donc, pour des raisons même strictement pratiques, examiner au spectrographe les rayons solaires qui passent à travers les verres destinés pour l'horticulture et en éliminer attentivement ceux qui absorbent

trop de rayons de courte longueur d'onde, et surtout certains rayons ultra-violets qui stimulent la végétation.

Une telle sélection des verres est extrêmement utile aussi pour les cages destinées aux animaux, comme on l'a prouvé par les expériences faites avec les singes dans les jardins zoologiques.

Avant de dépenser des sommes considérables à des tentatives d'acclimatation des plantes dans des régions différentes du globe, il faudrait, au préalable, établir, par des mesures spectro-pyrhéliométriques, si la quantité d'énergie et sa composition spectrale sont comparables dans les régions où l'on veut introduire des végétaux et dans leur pays d'origine.

Il en est de même avec le choix des places convenables pour l'établissement des sanatoria, où une étude spectro-pyrhéliométrique s'impose tout d'abord.

Sur l'emploi des écrans solaires :

Quand on parle des mesures de l'intensité du rayonnement solaire dans les différentes parties du spectre, on pense tout d'abord à l'emploi des verres colorés. Ce procédé, sûrement très simple, peut être immédiatement appliqué aux pyrhéliomètres thermo-électriques à lecture directe ou enregistreurs, en plaçant devant l'ouverture principale de l'appareil les écrans colorés ou des cuves remplies avec des substances appropriées.

On fait usage principalement des écrans suivants :

verre rouge d'Iéna,
verre noir pour l'infra-rouge, opaque pour les rayons visibles,
écran jaune en cuvette au bichromate de potassium,
écran bleu en cuvette contenant la solution de sulfate de cuivre.

Le verre rouge F. 4512 est fabriqué régulièrement par la verrerie de Schott, à Iéna. Pris dans une épaisseur de 4 m/m, il donne la transmissibilité suivante :

Fraction du rayonnement transmis	0,0	10	71	81	84	81
Longueur d'onde (en microns)	0,54	0,62	0,69	0,80	1,8	2,5
Fraction du rayonnement transmis	55	33	6	1		0
Longueur d'onde (en microns)	2,8	3,0	3,5	4,0		4,4

L'écran solaire, obtenu avec le verre rouge d'Iéna, est excellent pour l'usage avec les actinomètres. C'est grâce à lui que nous avons pu démontrer un fait important pendant une longue série de mesures effectuées en 1923 à bord des navires pendant notre voyage au Siam et à Java (1), à savoir : la diminution progressive de l'intensité de la partie rouge et infra-rouge de la radiation solaire, quand on va de l'Europe à l'Equateur.

Cette diminution, due surtout à la vapeur d'eau, dépend aussi, dans

(1) Voir notre note dans les Comptes Rendus (p. 754-757 du 22 octobre 1923, Paris), sous le titre « Sur la diminution dans la partie rouge du rayonnement solaire observée entre l'Europe et l'Equateur ».

une certaine mesure, du changement zénithal du soleil à midi, lorsqu'on se rapproche de l'Equateur. Ramenant cette dernière à la même position du soleil, il résulte de nos mesures que l'intensité partielle de la partie infra-rouge avec la partie majeure (surtout au point de vue énergétique) du spectre visible, accuse un déficit de 5 % environ entre l'Europe et l'Equateur. Puisque la proportion des rayons de courte longueur d'onde devient plus grande dans les régions tropicales où le soleil passe par le zénith, il s'ensuit que la partie ultra-violette et violette du spectre solaire est beaucoup plus active dans les régions entre les tropiques.

Etant donné que l'intensité totale de la radiation solaire est, dans la moitié plus chaude de l'année, plutôt plus grande en Europe que dans la zone équatoriale, c'est surtout à la différence dans la répartition de l'énergie du rayonnement dans les diverses parties du spectre solaire qu'il importe d'attribuer les effets si différents du soleil dans les zones tempérées et chaudes. Ce déficit du « rouge » (avec l'infra-rouge), uni à un surplus de l'ultra-violet dans la zone tropicale et équatoriale, peut seul nous expliquer bien des choses et des particularités se rapportant à l'acclimatation, à la physiologie, à la végétation, etc...

Pour terminer la question des écrans, passons maintenant à notre écran infra-rouge, pour lequel l'examen spectrographique donne, pour une épaisseur de 7 $^{m}/^{m}$, les résultats suivants :

Fraction du rayonnement transmis	6	24	75	65	81	64	30	6
Longueur d'ondes	0,8	1,0	1,5	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0

Cet écran infra-rouge laisse passer environ 15 % de l'énergie totale.

Les verres colorés, utilisés avec succès pour la partie rouge et infra-rouge du spectre, présentent de sérieux inconvénients si l'on veut les utiliser seulement pour la partie visible et surtout violette du spectre. Dans ce cas, la meilleure méthode consiste à utiliser les écrans liquides, en cuvettes par exemple, de 11 $^{m}/^{m}$ d'épaisseur. Les écrans utilisés par nous, dans les oasis sahariennes et à l'Ariana, avaient la composition suivante :

l'écran jaune au bichromate de potassium : 5,16 gr. $K^2\ Cr^2\ 0^7$,
l'écran bleu au sulfate de cuivre : 30 gr. $Cu\ SO^4$ en 100 gr. $H^2\ O$.

Le premier écran, très transparent entre 0,7 et 1,0 micron, est presque opaque déjà pour 1,4 micron. L'écran bleu ne transmet, outre les petites longueurs d'ondes, que très peu des rayons infra-rouges dans les environs de 2 microns.

L'emploi de ces écrans solaires permet d'étudier la marche et les variations des intensités partielles du rayonnement solaire après le passage des rayons dans l'atmosphère terrestre.

L'exemple suivant, tiré de nos mesures dans le Sahara, montre bien l'intérêt de ces mesures :

Oasis de Touggourt, 3 avril 1924

		6 h.	7 h.	Midi	15 h.	17 h.	18 h.
Pourcentage transmis par les écrans	bleu.....	9	16	**18**	17	10	2
	infra-rouge..	20	16	**14***	15	18	25
	rouge.....	67	53	**48***	50	60	73

On y voit la diminution caractéristique et très prononcée, à partir du lever du soleil jusqu'au milieu du jour, dans la proportion des rayons rouges et infra-rouges; en même temps, on trouve l'augmentation correspondante d'intensité du côté du bleu.

Mais, malgré tout, les mesures effectuées avec les écrans ne peuvent jamais remplacer l'emploi des spectrographes, qui seuls peuvent nous donner l'idée plus exacte de la répartition de l'énergie spectrale et des particularités, si importantes, des bandes d'absorption dans l'infra-rouge et de l'intensité partielle dans la partie ultra-violette du spectre.

Spectrographe thermo-électrique

Le spectrographe thermo-électrique, établi pour les études de l'infra-rouge, est composé de quatre parties (*fig. 8*) :

1) chambre spectrographique,
2) monture équatoriale,
3) galvanomètre avec les accessoires,
4) enregistreur spectrographique.

La chambre spectrographique (*fig. 9*) est placée sur une monture équatoriale qui possède trois cercles de réglage :

latitude géographique, écliptique et temps.

La monture, qui était du modèle dit anglais, dans nos premiers spectrographes (1) (*fig. 8*), est construite maintenant d'après le modèle dit français, représenté sur la figure 10.

Un mouvement d'horlogerie, placé séparément (comme on le voit sur les figures 8 et 9), permet à l'appareil de suivre facilement le soleil; les rayons, concentrés par une petite lunette montée sur la chambre spectrographique (*fig. 9*), pénètrent dans l'intérieur de la chambre pour y être réfléchis et dispersés.

Au lieu de la petite lunette (voir *fig. 10*) dans laquelle une lentille sphéro-cylindrique projette alors sur la fente une ligne comme l'image du

(1) Dans la construction de nos premiers spectrographes infra-rouges, nous avons profité plusieurs fois des conseils très précieux de M. D. Chalonge, assistant à la Sorbonne, auquel nous tenons à présenter ici nos plus sincères remerciements. D'autre part, pour le spectrographe ultra-violet décrit plus loin, nous notons avec toute notre reconnaissance que c'est M. Cabannes, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier, qui nous a facilité beaucoup la construction du premier modèle de cet appareil. L'étalonnage de ce spectrographe a pu être plus rapidement exécuté grâce à l'aimable intervention de M. H. Volkringer, du Laboratoire de Physique de la Sorbonne, que dirige l'illustre physicien qu'est M. Charles Fabry.

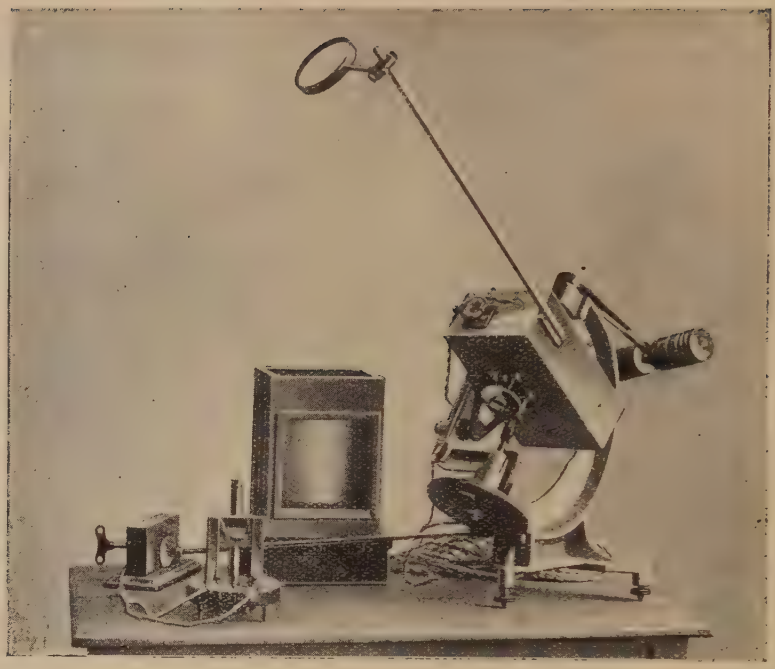


Fig. 8 — Spectrographe pour l'infra-rouge (sur monture dite anglaise) avec une grande lentille pour recevoir les rayons solaires

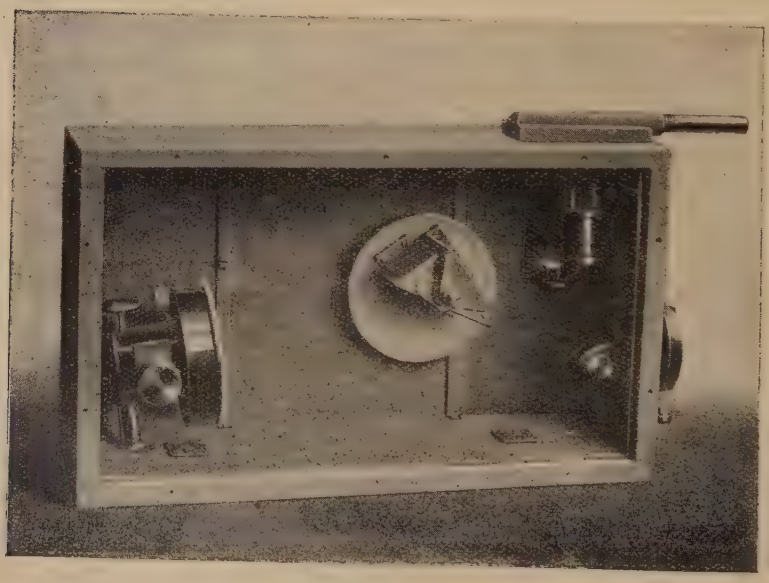


Fig. 9. — Intérieur de la chambre spectroscopique

soleil, on a utilisé dans les premiers-modèles (voir *fig. 8*) une grande lentille plan-convexe formant un point. Cette lentille, montée sur une tige, ne pouvait pas être aussi stable que la petite lunette employée maintenant, laquelle présente en outre l'avantage de couvrir mieux la fente dans toute son étendue.

Suivant la latitude géographique, le mouvement d'horlogerie, placé séparément, doit être ajusté de manière que la tige de transmission, à la cardan, touche facilement le cercle du temps (*fig. 9*). On a amélioré récemment ce réglage en plaçant le mouvement d'horlogerie sur une platine fixée sur l'axe mobile.

Quand le spectrographe n'est pas en fonction, il est extrêmement utile de desserrer la « vis de serrage » (*fig. 10*), pour que les dents du cercle soient libres.

Le contrepoids est nécessaire pour bien équilibrer l'appareil. Dans le cas où l'on voudrait employer une lunette plus grande — au lieu de la petite lunette plus commode et suffisante pour l'usage ordinaire de l'infra-rouge solaire — on devrait ajouter un contrepoids additionnel sur le côté opposé de la chambre.

L'intérieur du spectrographe proprement dit (*fig. 9*) se compose des parties suivantes :

a) lunette avec fente micrométrique, par laquelle les rayons solaires arrivent dans la chambre;

b) miroir concave, argenté extérieurement, qui reçoit les rayons venant de la fente extérieure;

c) un prisme en flint spécial, avec une face argentée, de manière que les rayons réfléchis par le miroir concave reviennent près du même chemin après avoir subi la dispersion;

d) un petit miroir plan qui sert à diriger le spectre sur la fente d'une pile linéaire placée à l'autre bout de la chambre.

Les autres détails concernant la marche des rayons solaires dans l'intérieur de la chambre spectrographique sont donnés dans la figure 11. Ajoutons que le prisme et aussi la lentille sphéro-cylindrique de la petite lunette ont été faits d'un flint spécial (Parra Mantois D. 262), avec les indices suivants :

$$N_D = 1.64695,\ N_{G'} = 1.67212$$

$$V = \frac{N_D - 1}{N_F - N_C} = 34{,}2$$

L'examen spectrographique de ce flint très dense a montré que la fraction du rayonnement transmise par une lame de 15 m/m d'épaisseur était la suivante :

Longueur d'onde (en microns).....	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Fraction du rayonnement transmis %	96	93	87	82	77	66	23

Pour les rayons visibles et infra-rouges plus courts que 1,8 micron, notre flint D. 262 est complètement transparent.

On voit tout de suite l'utilité de ce verre pour l'étude de l'infra-rouge

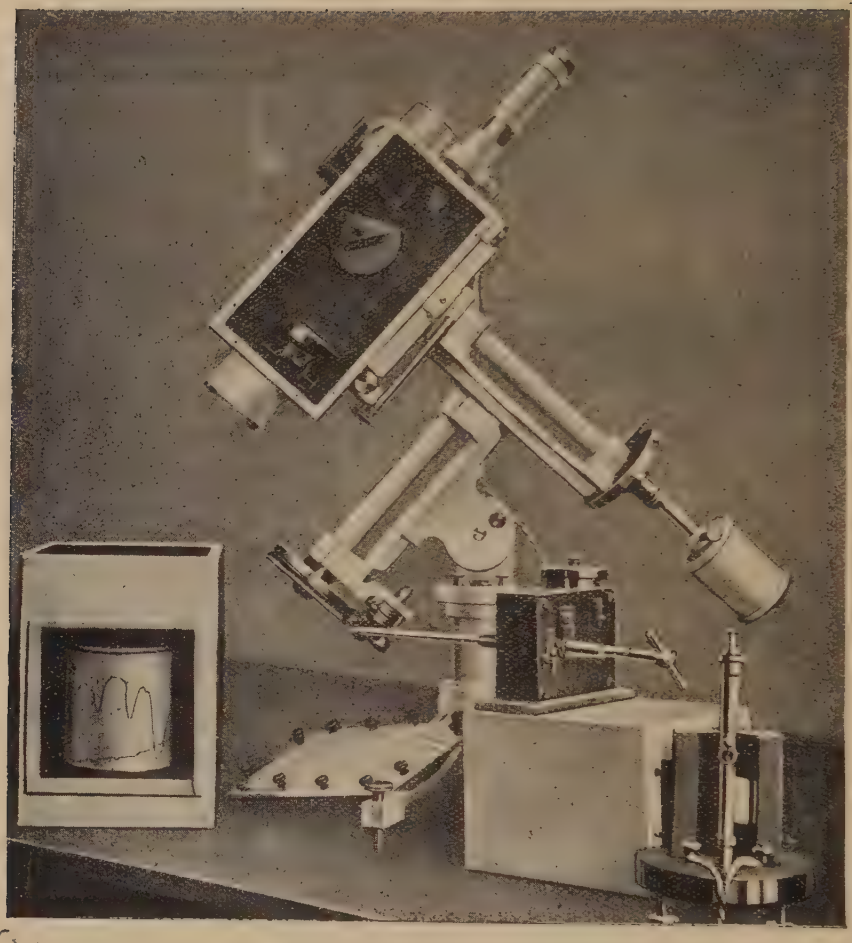
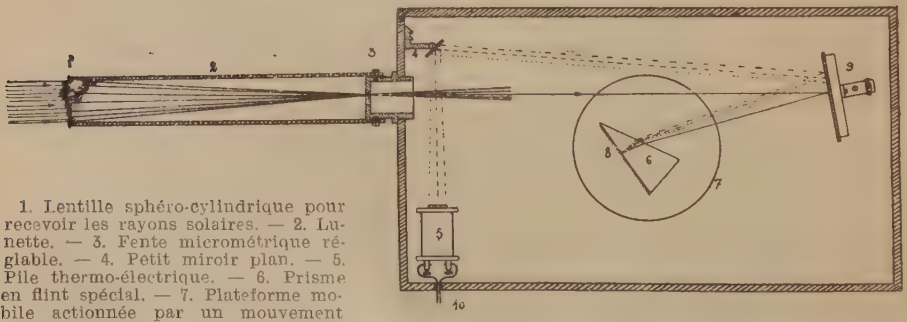


Fig. 10. — Spectrographe pour l'infra-rouge (sur monture dite française) avec la chambre spectroscopique ouverte et une petite lunette



1. Lentille sphéro-cylindrique pour recevoir les rayons solaires. — 2. Lunette. — 3. Fente micrométrique réglable. — 4. Petit miroir plan. — 5. Pile thermo-électrique. — 6. Prisme en flint spécial. — 7. Plateforme mobile actionnée par un mouvement d'horlogerie. — 8. Face argentée du prisme. — 9. Miroir concave. — 10. Fils allant au galvanomètre.

Fig. 11. — Marche des rayons dans le spectrographe pour l'infra-rouge ;

solaire, où l'intensité du spectre est déjà minime aux environs de 3 microns, surtout dans les conditions ordinaires.

La chambre spectrographique possède un mouvement d'horlogerie séparé (visible un peu sur la figure 9 derrière la chambre ouverte) qui sert à déplacer légèrement le prisme de façon que tout le spectre défile progressivement (pendant quinze minutes par exemple) devant la fente de la pile linéaire placée dans la chambre spectrographique.

Comme partie sensible thermo-électrique, nous avons employé, outre la pile linéaire (micro-pile de Moll), un thermo-élément dans le vide ou un simple dispositif thermo-électrique dans l'air du système Voege.

La partie thermo-électrique de la chambre est reliée à un galvanomètre à miroir qui doit avoir une grande rapidité d'action et une grande fixité du zéro.

Comme tel galvanomètre, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le modèle Sch. ou un modèle de Moll. Pour le premier, la sensibilité est de $1{,}25 \times 10^{-7}$ Amp. pour une déviation de $1\ ^{m/m}$ à la distance de 1 mètre. La résistance du galvanomètre Sch. est de 20 ohms, ce qui correspond assez bien avec la résistance de la micro-pile. Le galvanomètre de Moll (résistance 45 ohms) donne pour 1 micro-volt plus de $1\ ^{m/m}$ de déviation à une distance de un mètre.

Pour l'infra-rouge solaire, l'emploi du modèle Sch. est suffisant, ce modèle étant particulièrement robuste et facilement portatif.

Quand le galvanomètre n'est pas en fonction, il doit être bloqué. On se sert pour cela d'une petite vis placée dans le tube extérieur de cet appareil.

Le galvanomètre est éclairé par une petite lanterne et on se sert d'une échelle transparente pour ajuster l'appareil; mais, pour les mesures solaires, le spot se produit sur la fente de l'enregistreur photographique, qui possède en général deux vitesses.

Pour les mesures solaires, on installe dehors la monture avec la chambre spectrographique et on dirige l'appareil vers le soleil, après avoir, au préalable, ajusté convenablement les cercles de la monture.

Notons que le spectrographe n'étant pas fait pour l'usage astronomique mais pour les mesures spectrales, les divisions n'ont ni verniers, ni petites subdivisions, inutiles dans notre cas.

On ajuste le prisme dans la chambre de façon que le spectre se forme dans la fente de la pile; on commence généralement par la partie rouge (ou jaune) du spectre de façon que la partie infra-rouge, avec ses bandes d'absorption caractéristiques, défile progressivement.

Après avoir débloqué le galvanomètre (qui se trouve dans une chambre noire avec l'enregistreur photographique), on voit le spot lumineux dans l'ouverture de l'enregistreur photographique. La position du spot lumineux varie selon l'endroit du spectre dans lequel se trouve la pile.

Il faut généralement quinze minutes pour prendre tout le spectre.

A l'aide du spectrographe décrit plus haut, on a obtenu une série de courbes dont quelques-unes sont reproduites à une échelle fortement diminuée dans les figures 12 et 12 *bis*.

Ces courbes ont été obtenues au Service Botanique de Tunisie, à l'Ariana, en 1926 et 1927, par mon aide M. Z. Lemanski.

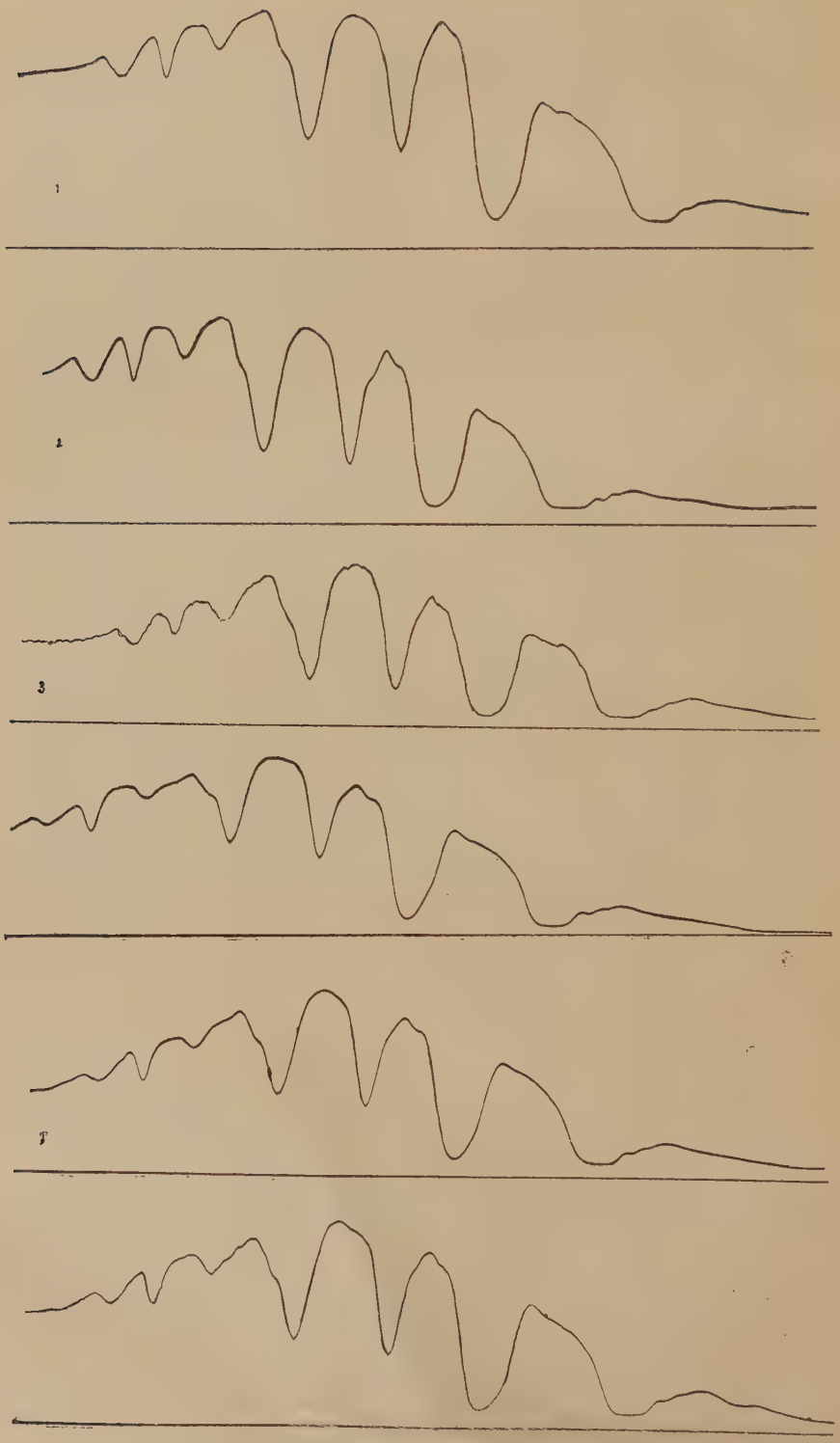


Fig. 12. — Spectrogrammes pour l'infra-rouge (N° 1 à 6)

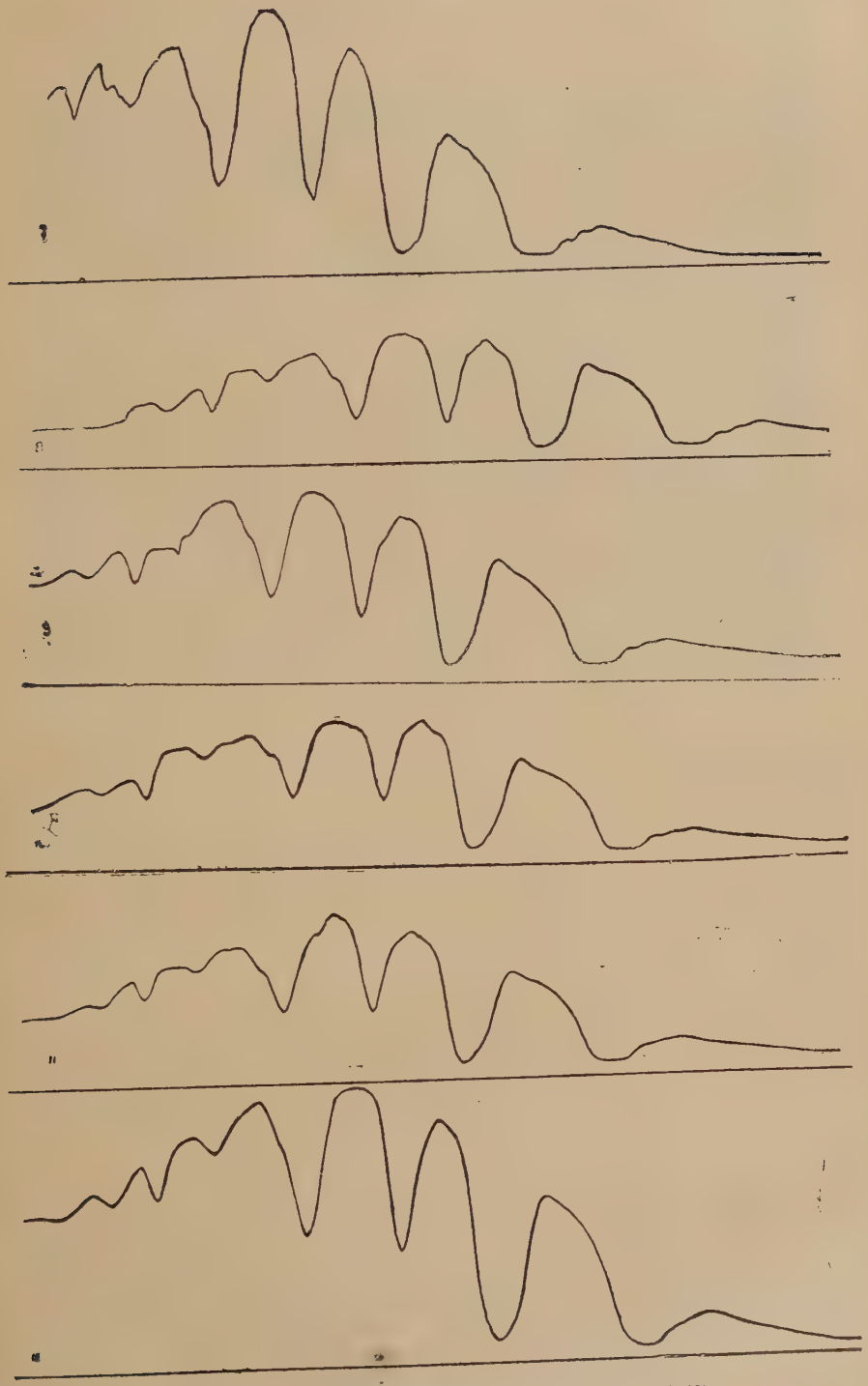


Fig. 12 bis. — Spectrogrammes pour l'infra-rouge (N° 7 à 12)

Quelques spectrogrammes obtenus en 1926 et 1927 à l'Ariana au Service Botanique Tunisien

N°s	DATE	HEURE officielle	HAUTEUR du soleil	NÉBULOSITÉ (0 - 10)	REMARQUES
1	15-VII-1926	14h40	58°1	0	Ciel clair.
2		17 10	28 5	0	
3	9-X-1926	15 23	27 9	1	Voiles.
4	20 XI-1926	11 32	34 5	0	Ciel un peu bleuâtre, siroco.
5		14 37	24 1	0	
6	25-I-1927	10 29	28 6	8	Beaucoup de voiles.
7	4-VIII-1926	16 18	36 1	2	Ciel clair.
8	31 VII-1926	9 43	20 5	1	Ciel un peu bleuâtre.
9	16-II-1927	10 32	34 5	6	Malgré une nébulosité assez grande, le ciel était assez clair entre les nuages.
10		11 15	38 8	7	
11		12 08	41 6	7	
12		15 29	27 0	4	

Tous les spectrogrammes énumérés plus haut ont été obtenus avec le galvanomètre du modèle Sch. et en prenant les fentes de 0,2 m/m aussi bien à l'extérieur de la chambre spectrographique (entre la petite lunette et la chambre) qu'à l'intérieur, c'est-à-dire devant la pile thermo-électrique. Une seule exception concerne les deux courbes du 15 juillet 1926, où la fente extérieure avait seulement 0,125 m/m, la fente intérieure étant toujours de 0,2 m/m.

Dans toutes les courbes, on voit d'une manière très caractéristique les grandes bandes d'absorption avec quelques inflexions moins importantes. Mais, quoique l'allure générale des spectrogrammes soit toujours la même, il y a beaucoup de différence dans la hauteur des courbes, la profondeur des bandes, et beaucoup d'autres détails encore. Ces différences sont dues surtout à la vapeur d'eau dans les couches atmosphériques, mais elles dépendent aussi de la transparence de l'atmosphère et d'autres facteurs encore.

Nous nous bornons à signaler seulement ces faits et à donner, à titre d'exemple, quelques spectrogrammes pris au hasard, les résultats des mesures spectropyrhéliométriques étant destinés à être examinés dans un mémoire spécial.

Spectropyrhéliomètre

Quoique le spectrographe thermo-électrique, décrit plus haut, soit destiné plus particulièrement pour l'étude de la partie infra-rouge du spectre solaire, il pourrait servir aussi pour la région visible du spectre, où les déviations galvanométriques sont grandes dans la majeure partie. Mais, en s'approchant du violet, ces déviations tombent rapidement et cessent

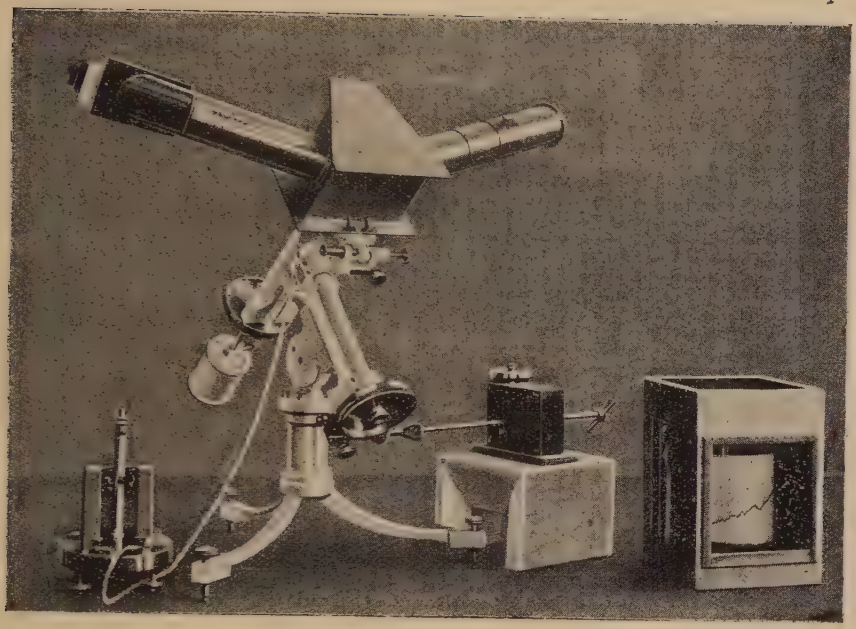


Fig. 13. — Spectropyrhéliomètre avec les parties d'optique en quartz

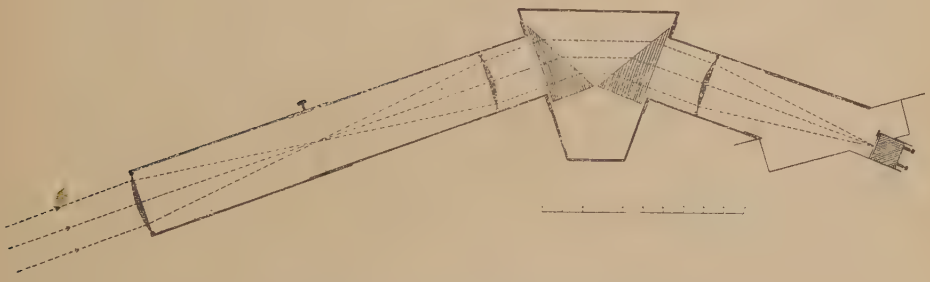


Fig. 14. — Marche des rayons dans le spectropyrhéliomètre

complètement au commencement de l'ultra-violet. Cela est dû non seulement à la diminution brusque de l'intensité calorique du côté violet du spectre, mais aussi à l'emploi du verre et des miroirs à réflexion qui ne sont pas adaptés à l'usage dans la partie ultra-violette du spectre solaire.

Le nouveau spectrographe en quartz est construit sans miroirs, d'après le schéma classique des spectrographes pour l'ultra-violet, avec l'addition d'une lentille cylindrique pour recevoir les rayons solaires. L'emploi de cette lentille, préconisé déjà par le Dr Coblentz dans les publications de U. S. Bureau of Standards, est utile en effet.

Ce spectrographe en quartz, qui peut marcher sur la même monture équatoriale que le spectrographe pour l'infra-rouge, peut servir non seulement pour l'ultra-violet solaire, mais aussi pour toutes les régions du spectre. En divisant le spectre solaire en quelques parties (entre 0,3 et 3,0 microns par exemple), on peut facilement obtenir les intensités partielles comme pourcentage de l'intensité totale contrôlé par un pyrhéliomètre étalon, dans l'ultra-violet, dans les parties visibles et dans l'infra-rouge. Pourtant, notre spectropyrhéliomètre ne serait guère pratique pour l'étude des bandes d'absorption dans l'infra-rouge par suite de la petite étendue du spectre dans cette région. Pour la question si importante des bandes d'absorption en fonction de la vapeur d'eau et de l'opacité des couches atmosphériques, il est indispensable d'avoir un spectrographe spécial, comme celui qui est décrit plus haut comme spectrographe thermo-électrique pour l'infra-rouge.

La marche des rayons dans notre spectropyrhéliomètre est présentée dans la *figure 14*.

Suivant la *figure 13*, nous voyons que le spectropyrhéliomètre se compose des parties suivantes :

a) d'une lentille cylindrique en quartz pour recevoir les rayons solaires;
b) d'un tube à coulisse avec une fente réglable au milieu;
c) de deux lentilles plan-convexes en quartz (rotation gauche et droite);
d) de deux prismes de 30° (quartz de rotation gauche et droite);
e) d'une petite chambre mobile, mise obliquement, qui porte une pile thermo-électrique, cette pile pouvant être déplacée automatiquement.

On emploie avec ce spectropyrhéliomètre en quartz un galvanomètre à miroir (modèle de Moll, par exemple), qui suffit pour l'ultra-violet solaire.

Nous nous bornons ici à ces remarques générales et mentionnons que les mesures spectropyrhéliométriques seront discutées plus en détail dans un mémoire spécial.

Ladislas GORCZYNSKI

Docteur ès Sciences

QUELQUES RÉSULTATS D'ÉTALONNAGE DES TUBES PYRHÉLIOMÉTRIQUES, DES PYRHÉLIOGRAPHES et des Solarimètres

INTRODUCTION

Comme complément important de la description générale des différents actinomètres contenue dans notre mémoire sous le titre « Sur les instruments solarimétriques et spectropyrhéliométriques pour les mesures totales, normales et partielles du rayonnement solaire (pp. 7-38, avec 14 figures, Tunis 1928), nous présentons ici quelques résultats d'étalonnage obtenus avec ces appareils.

Ces différents étalonnages, entrepris pendant ces trois dernières années à l'Ariana, Ouargla, Montpellier, Washington et Tacubaya, ont été effectués par deux méthodes différentes : compensation électrique (pyrhéliomètre d'Angström), calorimétrique (pyrhéliomètre à disque d'argent, construit par le Dr Abbot selon le modèle de Pouillet). Comme nous le verrons plus loin, nos deux instruments principaux de contrôle (pyrhéliomètre d'Angström n° 178a et celui à disque d'argent S. I. n° 22) ont fourni les mêmes valeurs exprimées d'après l'échelle smithsonienne.

Les résultats de nos étalonnages sont discutés dans quatre chapitres :

I. — Pyrhéliomètres de contrôle employés pour l'étalonnage;
II. — Etalonnage des tubes pyrhéliométriques;
III. — Etalonnage des pyrhéliographes thermo-électriques;
IV. — Etalonnage des solarimètres et influence du diamètre des verres hémisphériques.

Les enregistrements des spectropyrhéliomètres (spectrographe en flint spécial pour l'infra-rouge et spectrographe en quartz adapté plus spécialement pour l'ultra-violet solaire) ne sont pas discutés ici. Cette question fera l'objet d'une publication spéciale.

Les résultats d'étalonnage des tubes pyrhéliométriques, des pyrhéliographes et des solarimètres présentés dans les trois derniers chapitres nous montrent que les tubes pyrhéliométriques donnent une très bonne marche des coefficients de transmission des déviations millivoltmétriques en valeur absolue (cal. gr. par minute et par cm² de la surface à l'incidence

normale). Pour un tube muni d'une pile du type Moll de grande surface et d'un verre plan de protection, on a obtenu le coefficient invariable pendant de longs mois de comparaisons avec un pyrhéliomètre d'Angström et celui d'Abbot.

Les petits tubes pyrhéliométriques, reliés à un millivoltmètre de poche de Weston, ont donné aussi des résultats très encourageants, mettant en même temps en évidence qu'il est parfaitement possible d'utiliser les tubes pyrhéliométriques aussi sans aucun verre de protection.

Le nouveau système des petits tubes pyrhéliométriques avec de simples thermo-éléments dans le vide et une petite lentille sphérique a été aussi expérimenté avec de bons résultats. Il en a été de même pour les tubes munis de lentilles sphéro-cylindriques, dans le cas des piles thermo-électriques dont les soudures sont disposées suivant une ligne droite.

L'étalonnage des pyrhéliographes nous montre qu'il est nécessaire d'établir les coefficients en fonction des divisions de l'échelle proportionnelle du millivoltmètre enregistreur. Quant aux solarimètres, un coefficient unique peut être établi seulement quand le diamètre du verre hémisphérique qui couvre la pile dépasse 40 $^{m}/_{m}$, surtout s'il atteint 50 $^{m}/_{m}$. Pour les petits diamètres (de 30 $^{m}/_{m}$ par exemple), il faudrait employer un coefficient de réduction qui s'accroît quand le soleil baisse et qui dépend, par conséquent, de l'altitude du soleil au-dessus de l'horizon.

Ariana, mars 1928.

Chapitre I

PYRHÉLIOMÈTRES DE CONTROLE EMPLOYÉS POUR L'ÉTALONNAGE

Pour l'étalonnage des solarimètres, des tubes pyrhéliométriques et des pyrhéliographes, nous nous sommes servi, en Afrique du Nord et en Europe, des pyrhéliomètres à compensation électrique du type Angström-Upsala et quelquefois aussi du type Angström-Volosin; en Amérique du Nord et principalement au Mexique, les comparaisons furent effectuées à l'aide de deux pyrhéliomètres différents, électrique d'Angström et à disque d'argent d'Abbot, ce qui a permis en même temps de nous assurer de la concordance des valeurs données simultanément par nos deux instruments de contrôle, d'après l'échelle smithsonienne.

Pyrhéliomètres à compensation électrique.

L'instrument absolu, connu sous le nom de pyrhéliomètre à compensation électrique, fut décrit par feu le professeur K. Angström, de l'Université d'Upsala, dans le tome 9 (p. 339, 1899) de l'*Astrophysical Journal*. (*Fig. 1.*)

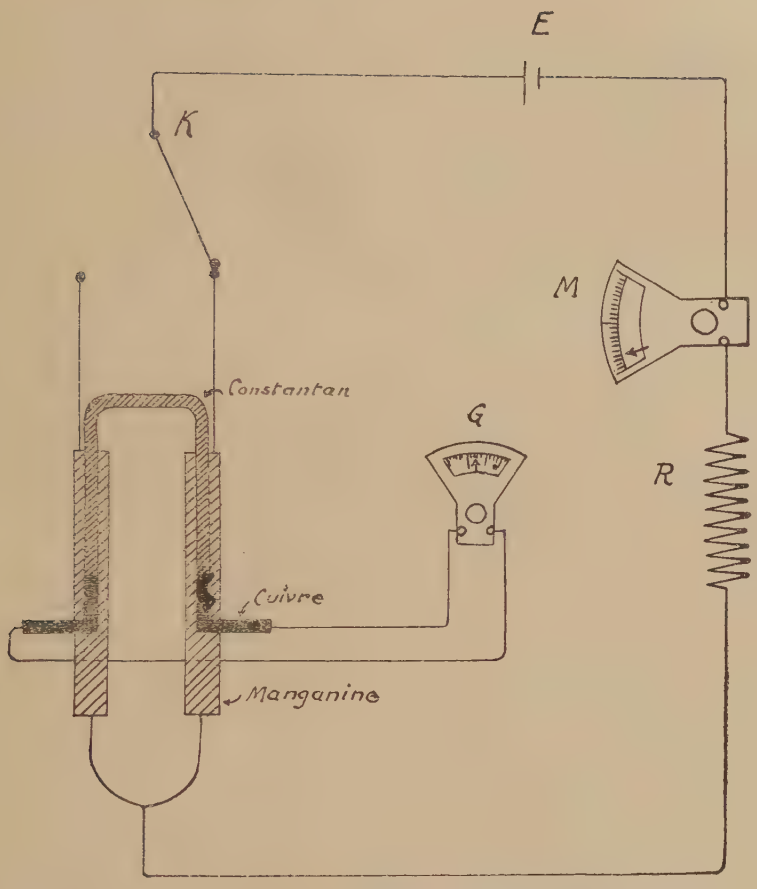


Fig. 1. — Pyrhéliomètre à compensation électrique (Modèle d'Angstrôm
Schéma des connexions

E. Petite batterie d'accumulateurs.
M. Milliampèremètre de précision
R. Rhéostat réglable.
G. Galvanomètre.
K. Commutateur.

Dans la figure 1, on trouve le schéma des connexions électriques de cet appareil avec sa partie sensible, consistant en deux lames de manganine, alternativement soumises à l'action du rayonnement solaire, en contact avec des pinces thermo-électriques (cuivre-constantan) qui appuient sur les lames. Pour calculer l'intensité Q, on se sert de la formule :

$$Q = \frac{60}{4,9} \frac{r}{b.a} i^2 \text{ cal. gr/min., cm}^2 \qquad (1)$$

où r représente la distance des lames, b la largeur des lames et a leur

pouvoir absorbant. Le courant de compensation i (en ampères) est mesuré au moyen d'un milliampèremètre de précision.

L'échelle d'Upsala, employée par feu Angström, donne des valeurs plus faibles que l'échelle de l'Institut smithsonien, introduite en 1903.

On admet généralement 3,3 % comme différence entre ces deux échelles.

Il existe même des raisons physiques pour une légère augmentation des coefficients fournis par la formule (1); d'après M. Boutaric, le savant professeur de la Faculté de Dijon, bien connu par ses travaux actinométriques, on peut les formuler de la manière suivante. Dans la méthode de compensation électrique d'Angström, la lamelle exposée au soleil est chauffée par devant, la lamelle ombragée est chauffée dans la masse, en sorte que la lamelle exposée est en réalité un peu plus chaude que la lamelle ombragée, bien qu'ayant la même influence sur les thermo-éléments; la seconde objection provient du fait que la lamelle exposée perd plus que l'autre par la convexion et le rayonnement.

Par suite de cette assymétrie et d'autres causes encore (surtout de l'effet des diaphragmes qui empêchent les rayons solaires de tomber exactement sur les bords des lames), les indications du pyrhéliomètre d'Angström, calculées d'après la formule théorique donnée plus haut, sont systématiquement trop faibles. L'effet des diaphragmes, connu sous le nom de « border-effect » dans les publications anglo-saxonnes, dépasse un peu 3 %.

La question importante est aussi la résistance électrique du pyrhéliomètre à compensation électrique. Les pinces thermo-électriques appuient sur les lames, mais en sont séparées par un isolant électrique; on se trouve ici devant la difficulté que, si les deux soudures thermo-électriques ne sont pas rigoureusement identiques, il n'est plus vrai d'écrire que le nombre de watts dépensés par le courant dans l'une des lames mesure exactement l'énergie du rayonnement solaire reçu par l'autre. Cette dernière source d'erreur s'élimine si l'on prend la moyenne de deux ou trois déterminations, dans lesquelles les lames sont alternativement exposées au soleil ou laissées dans l'ombre. Ajoutons enfin qu'une partie très importante de l'installation pyrhéliométrique d'Angström est aussi le milliampèremètre. Nous avons employé deux instruments de précision du modèle de Siemens et Halske, avec une échelle de 0 à 150 milliampères et une résistance intérieure de 2 ohms. Un shunt spécial a permis d'obtenir une échelle de 0 à 450 milliampères ou même davantage. Les corrections de l'échelle, déterminées de dix en dix divisions, sont insignifiantes pour la plus grande partie de l'échelle du milliampèremètre, atteignant —0,1 et —0,2 pour quelques rares divisions.

Nous nous sommes servi, depuis 1925, en Afrique du Nord et en Amérique, de trois différents exemplaires du pyrhéliomètre à compensation électrique, mais puisque les indications de ces trois instruments étaient ramenées et vérifiées à plusieurs reprises avec un seul qui nous a servi comme base, nous parlerons plus spécialement de cet étalon (n° 178a).

Voici le certificat de cet appareil, dont la partie sensible a été construite à Upsala en 1926 d'après les mesures et les comparaisons du Dr Erik Backlin, de l'Université d'Upsala.

Pyrhéliomètre n° 178a a compensation électrique

Résistance r des lames	0,2101 ohm par cm.
Largeur b des lames	0,2057 cm.
Pouvoir absorbant de la surface	0,98

Le coefficient K de l'appareil qui en résulte d'après la formule théorique :

$$Q = \frac{60}{4,\,19}\ \frac{r}{b.a}\ i^2 = A\ \ i^2 = 14,93\ \ i^2$$

$K = 14,93$. Cette valeur, donnée en l'échelle d'Upsala, fut aussi établie par comparaison avec l'étalon d'Angström (n° 70); le Dr Backlin a trouvé, en automne 1926, le coefficient :

$$K = 14,87$$

pour ramener les mesures effectuées avec notre pyrhéliomètre n° 178a en cal. gr. cm^2, min. suivant l'échelle d'Upsala employée par K. Angström.

Pour être d'accord avec l'échelle de l'Institut smithsonien, employée en Amérique, nous avons augmenté la valeur K = 14,9 de 3,3 %; notre coefficient définitif, qui nous a servi constamment dans toutes nos mesures pyrhéliométriques avec l'appareil n° 178a, était :

$$Kcorr = 15,4$$

C'est avec ce coefficient que nous avons fait les comparaisons et établi tous les coefficients aussi bien pour les autres pyrhéliomètres à compensation électrique qui étaient à notre disposition que pour les tubes pyrhéliométriques, solarimètres et pyrhéliographes.

Notons qu'en automne et en hiver 1927, les mesures simultanées à l'Observatoire de Tacubaya, entre nos pyrhéliomètres à compensation électrique et le pyrhéliomètre à disque d'argent (S. I. n° 22), ont donné *en moyenne* une très bonne concordance entre les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire obtenues simultanément avec ces deux modèles différents de pyrhéliomètre.

Nous soulignons le mot « en moyenne » parce que, dans les mesures individuelles, on obtient et on obtiendra toujours des écarts plus ou moins grands et de signes différents. Cela s'explique par le différent effet que les voiles et les nuages, si fréquents autour du soleil, produisent sur le pyrhéliomètre d'Angström et sur celui d'Abbot. L'angle sous lequel les rayons solaires sont reçus par ces deux appareils n'est pas le même; d'autre part, le pyrhéliomètre d'Abbot ne peut donner que les moyennes pendant 100 secondes au moins. En pratique, une série des mesures avec l'appareil d'Abbot dure plusieurs minutes (10 minutes par exemple), tandis qu'on opère bien plus vite avec les pyrhéliomètres d'Angström. C'est un grave défaut du système d'Abbot qui le rend peu pratique pour l'usage courant dans la plupart des climats.

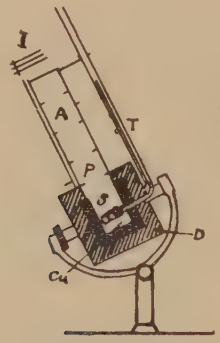
La méthode de compensation électrique qui permet de suivre presque instantanément les variations du rayonnement est bien supérieure à celle qu'utilise Abbot. Elle peut être considérée comme absolue et permet la vérification du coefficient au laboratoire.

Malheureusement, si le principe d'Angström de la méthode de compensation électrique est excellent, l'exécution des pyrhéliomètres fabriqués en Suède laisse beaucoup à désirer. Non seulement ces pyrhéliomètres d'Angström sont manufacturés d'une manière très médiocre, mais ils ne paraissent pas suffisamment étudiés au point de vue physique et mécanique. Il faudrait entreprendre des recherches de laboratoire pour trouver des solutions précises aux difficultés multiples qu'on a rencontrées déjà dans l'usage pratique et permanent des modèles actuels des pyrhéliomètres à compensation électrique.

Il est vraiment à regretter que jusqu'ici rien de durable n'ait été fait à cet égard, surtout en Suède, où feu K. Angström a cependant laissé des continuateurs de ses œuvres immortelles, et qu'on laisse toujours les actinométristes du monde entier se décourager avec les modèles si imparfaits encore des pyrhéliomètres à compensation électrique.

Pyrhéliomètre à disque d'argent.

Le pyrhéliomètre à disque d'argent présente une amélioration du vieil instrument à mercure construit par Pouillet et employé ensuite par Tyndall. Il est basé sur la méthode calorimétrique et, dans sa forme actuelle, fut décrit en 1909 par le Dr Abbot, de l'Institut smithsonien à Washington. (*Fig.* 2.)



I. Ecran mobile.
A. Tige métallique.
P. Ouverture intérieure.
T. Thermomètre à mercure.
S. Disque d'argent.
Cu. Partie en cuivre.
D. Boîte en bois.

Fig. 2. — Pyrhéliomètre à disque d'argent. Modèle d'Abbot, selon Pouillet

D'après l'instruction d'Abbot, on forme une série de dix lectures pendant dix minutes en lisant le thermomètre dans les intervalles alternatifs de 20 ou de 100 secondes. Le schéma d'une telle série est le suivant :

0 min.	20 sec.	l_1	dans l'ombre
2 —	0 —	l_2	
2 —	20 —	l_3	au soleil
4 —	0 —	l_4	
4 —	20 —	l_5	dans l'ombre
6 —	0 —	l_6	
6 —	20 —	l_7	au soleil
8 —	0 —	l_8	
8 —	20 —	l_9	dans l'ombre
10 —	0 —	l_{10}	

De ces dix lectures l_1 à l_{10} on calcule :

$$R_1 = \frac{l_1 - l_2 - l_5 - l_6}{2} - l_4 - l_3 \qquad R_2 = \frac{l_5 - l_6 - l_9 - l_{10}}{2} - l_8 - l_7$$

$$T_1 = \frac{l_3 - l_4}{2} \qquad T_2 = \frac{l_7 - l_8}{2} \qquad (2)$$

Les valeurs de R (R^1 et R^2) doivent être corrigés et contenir notamment la correction de l'échelle C, de la température du réservoir T (T_1 et T_2) et de l'air ambiant t; on lit cette dernière température au moyen d'un thermomètre attaché (d'aspiration ou mis simplement dans l'ombre).

Les valeurs corrigées de R sont obtenues au moyen de la formule :

$$R_1 = 1 - C - K\,(T - 30) - K_1\,(20 - t) \qquad (3)$$

et la valeur finale de l'intensité du rayonnement solaire est calculée d'après la formule :

$$Q = 1/2\,(R_1 - R_2)\,K_o \qquad (4)$$

ou K_o représente la constante de l'appareil, fournie par l'Institut smithsonien et établie par comparaison avec un étalon. Pour le pyrhéliomètre à disque d'argent n° 22, employé à Tacubaya, les coefficients K et K_1 étaient :

$$K = 0.0011 \qquad K_1 = 0.00014$$

et la constante du pyrhéliomètre :

$$K_o = 0.3778$$

A part cela, une table spéciale a été fournie avec les corrections de l'échelle thermométrique de —14° jusqu'à 50° centigrades. (V. *tableau A.*)

Le pyrhéliomètre à disque d'argent fournit alors la valeur moyenne de l'intensité du rayonnement solaire chaque fois pendant 100 secondes; cette valeur peut donc être très différente de la lecture simultanée d'un pyrhéliomètre à compensation électrique qui donne les valeurs dans des intervalles beaucoup plus courts. La différence dépend des variations de l'intensité pendant les mesures et aussi des différents angles sous lesquels les rayons solaires sont reçus par les deux pyrhéliomètres en question, et sera notable surtout pour un ciel avec les voiles ou nuages.

Dans le *tableau B*, nous donnons, à titre d'exemple, les résultats des comparaisons effectuées en 1915 entre le pyrhéliomètre à disque d'argent (n° 22) et un pyrhéliomètre à compensation électrique (Angström n° 102), qui appartiennent tous les deux à l'Observatoire de Tacubaya. Comme l'on voit, l'accord est bon entre les indications de ces deux pyrhéliomètres, malgré les écarts individuels dus surtout aux conditions du ciel autour du soleil.

Pour s'assurer si la constante 0,3778 du pyrhéliomètre n° 22 à disque d'argent, établie à Washington en 1913, n'a pas changé de valeur depuis ce temps, on n'a pas pu répéter les comparaisons de cet instrument avec le pyrhéliomètre n° 102 à compensation électrique dans des conditions exactement les mêmes en 1915, car une des soudures thermo-électriques

de ce dernier a été trouvée séparée de la lame au commencement de l'année 1916; elle fut alors immédiatement réparée.

On a cependant vérifié le bon fonctionnement de l'appareil S. I. n° 22 par des comparaisons avec d'autres pyrhéliomètres et notamment :

a) de novembre 1926 jusqu'en juillet 1927, avec le pyrhéliomètre n° 102 réparé, dont le nouveau coefficient a été établi en novembre 1926 à Tacubaya avec un pyrhéliomètre du même modèle étalonné en septembre et octobre 1927 (c'est-à-dire immédiatement avant) à Washington, à l'Observatoire de Weather Bureau;

TABLEAU A

Corrections thermométriques en degrés de l'échelle centigrade pour le pyrhéliomètre à disque d'argent (S. I. N° 22)

TEMP. °C	CORR.	TEMP. °C	CORR.	TEMP °C	CORR.	TEMP °C	CORR.
— 14	+ 0.0060	1	+ 0.0080	16	— 0.0067	31	— 0.0025
— 13	40	2	75	17	77	32	35
— 12	37	3	65	18	87	33	37
— 11	50	4	57	19	95	34	45
— 10	+ 0.0065	5	+ 0.0046	20	— 0.0103	35	55
— 9	75	6	33	21	111	36	68
— 8	82	7	17	22	118	37	86
— 7	90	8	+ 0.0003	23	116	38	— 0.0105
— 6	95	9	— 0.0005	24	108	39	115
— 5	+ 0.0100	10	13	25	— 0.0093	40	125
— 4	100	11	20	26	73	41	130
— 3	95	12	25	27	55	42	130
— 2	87	13	32	28	42	43	130
— 1	85	14	42	29	30	44	130
— 0	+ 0.0085	15	— 0.0055	30	— 0.0025	45	— 0.0130
						46	130
						47	130
						48	125
						49	115
						50	— 0.0102

TABLEAU B

Comparaisons du pyrhéliomètre à compensation électrique (Ang. n° 102) avec le pyrhéliomètre à disque d'argent (S. I. n° 22)

(d'après les mesures simultanées effectuées pendant une année à l'Observatoire de Tacubaya)

DATES	ANG. n° 102	S. I n° 22	DIFF.	DATES	ANG. n° 102	S. I. n° 22	DIFF.
14 — I	1,50	1,59	— .09	1 — V	1,31	1,32	— .01
15 — I	1,52	1,47	+ .05				
19 — I	1,41	1,40	+ .01				
27 — I	1,34	1,34	.00	29 — VII	1,37	1,36	+ .01
29 — I	1,32	1,31	+ .01				
				13 — VIII	1,41	1,42	— .01
4 — II	1,29	1,29	.00				
6 — II	1,44	1,47	— .03				
11 — II	1,44	1,43	+ .01	10 — IX	1,45	1,44	+ .01
25 — II	1,43	1,43	.00	25 — IX	1,46	1,48	— .02
6 — III	1,50	1,50	.00	7 — X	1,53	1,47	+ .06
27 — III	1,49	1,50	— .01				
				28 — XI	1,46	1,48	— .02
1 — IV	1,38	1,38	.00				
6 — IV	1,50	1,50	.00				
27 — IV	1,29	1,28	+ .01	15 — XII	1,44	1,42	+ .02
				22 — XII	1,53	1,51	+ .02

Différence moyenne (23 jours) (Ang. n° 102) — (S. I. n° 22) = 0.00.

b) en novembre 1927, plusieurs comparaions ont été effectuées à l'Observatoire central météorologique de Tacubaya. Le pyrhéliomètre n° 22 à disque d'argent fut alors comparé avec un nouveau pyrhéliomètre à compensation électrique étalonné en été 1926 à l'Université d'Upsala; le coefficient de ce dernier pyrhéliomètre fut ramené à l'échelle de l'Institut smithsonien au moyen du facteur 1,033;

c) de novembre 1926 à juillet 1927, le pyrhéliographe thermo-électrique consistant en une pile n° 20 et un millivoltmètre enregistreur de Richard n° 107029 était comparé systématiquement, à Tacubaya, avec le pyrhéliomètre complet avec les données analogues établies à l'Observatoire du Parc-Saint-Maur à Paris par les soins du docteur Brazier, qui se servit aussi pour les comparaisons d'un pyrhéliomètre à disque d'argent.

Puisque toutes ces comparaisons avec les différents pyrhéliomètres, aussi bien à compensation électrique qu'avec un autre instrument à disque d'argent de l'Observatoire du Parc-Saint-Maur, ont donné des résultats concordants, il y a lieu de conclure que le pyrhéliomètre n° 22 employé à l'Observatoire Astronomique de Tacubaya n'a pas changé son coefficient et que toutes les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire qui figurent dans nos tables numériques représentent bien les valeurs absolues en gr. cal. cm^2 min. suivant l'échelle de l'Institut smithsonien.

CHAPITRE II

ÉTALONNAGE DES TUBES PYRHÉLIOMÉTRIQUES

Sous le nom de tubes pyrhéliométriques, nous désignons ici les systèmes thermo-électriques (piles ou éléments seuls dans l'air ou dans le vide) placés à l'extrémité d'un tube cylindrique contenant les diaphragmes appropriés. Dans l'autre extrémité du tube, on trouve généralement des verres protecteurs, plans, sphéro-cylindriques ou sphériques, mais l'emploi de ces verres n'est pas toujours nécessaire. Il y a même un avantage sérieux à employer un modèle du tube pyrhéliométrique muni d'un petit verre plan qu'on enlève facilement et qui peut servir seulement dans le cas d'un vent fort ou dans d'autres cas exceptionnels. Un tel petit modèle portatif, combiné avec un petit millivoltmètre de Weston, nous a beaucoup servi en 1927 pour les observations à bord des navires entre l'Amérique et l'Europe, et aussi dans les hautes montagnes mexicaines.

Nous donnons, ci-après, les résultats de l'étalonnage de quelques tubes pyrhéliométriques :

a) Tube (avec une pile de Moll de grande surface) avec un verre plan de protection et un millivoltmètre de Richard à lecture directe;

TABLEAU I

Coefficients du tube pyrhéliométrique (n° A) d'après les comparaisons effectuées à Montpellier avec le pyrhéliomètre à compensation électrique n° 173 a

1927	COEFFICIENTS	1927	COEFFICIENTS
21 juin	0.0157		
22 —	58		
24 —	57		
28 —	0.0156	3 août	0.0155
		10 —	56
1 juillet	0.0156	12 —	57
5 —	57	13 —	56
11 —	57	16 —	56
12 —	56	17 —	56
13 —	55	19 —	56
14 —	55	20 —	56
15 —	56	26 —	56
17 —	56	27 —	56
18 —	55	28 —	55
19 —	57	31 —	0.0156
20 —	55		
21 —	56		
30 —	0.0155		
Moyenne (17 jours d'observ.) : 0.01561		Moyenne (12 jours d'observ.) : 0.01560	

N. B. — Chaque valeur diurne représente une moyenne de plusieurs déterminations effectuées à différentes heures de la journée, depuis le lever jusqu'au coucher du soleil.

TABLEAU II

Exemple des variations diurnes accidentelles du coefficient du tube pyrhéliométrique (n° A) relié au millivoltmètre (Richard n° 4851)

TEMPS SOLAIRE (vrai)	Q ANGSTROM n° 178a	TUBE PYRHÉLIOMÉTRIQUE		REMARQUES
		DIVISIONS	COEFFICIENTS	
Heure Minutes				
6.42	0.66	42.6	0.0154	
7.04	0.84	54.0	156	
7.31	0.94	60.3	156	Nébulosité 3
7.52	1.00	63.0	157	— 3
8.19	1.04	66.5	157	— 3
9.16	1.11	70.6	157	— 6
10.10	1.17	75.1	155	— 7
10.39	1.19	76.9	155	— 8
11.09	1.18	76.2	155	— 9

N. B. — Cet exemple a été obtenu, à Montpellier, en été 1927, quand le ciel, clair au lever du soleil, fut rempli de cumuli, lesquels, augmentant en nombre, ont complètement couvert le soleil vers midi.

TABLEAU III

Coefficients du tube pyrhéliométrique (n° A) d'après les comparaisons effectuées à Tacubaya (Mexique) avec le pyrhéliomètre à disque d'argent (S. I. n° 22)

1927	COEFFICIENTS
17 octobre	0.0156
18 —	56
21 —	56
24 —	57
25 —	56
26 —	57
8 novembre	57
9 —	56
12 —	55

Moyenne (9 jours d'observation) : 0.01562.

b) Tube (avec une pile solarimétrique ou de petite surface) combiné avec un petit millivoltmètre de Weston et employé sans et avec verre plan;

c) Tube (avec une pile solarimétrique) muni d'une lentille sphéro-cylindrique et employé avec un millivoltmètre de Richard;

d) Tube contenant un simple thermo-élément dans le vide avec une lentille sphérique pour renforcer le courant thermo-électrique.

Le tube A avec des diaphragmes circulaires et un verre plan (qui est dans ce cas indispensable, la pile « grande surface du type Moll » nécessitant ici l'emploi d'un verre protecteur) fut comparé pendant de longs mois en 1926 (hiver et printemps) à l'oasis de Ouargla, le reste de cette année au Service Botanique à l'Ariana, et aussi en 1927 jusqu'en septembre à Montpellier, le reste de l'année au Mexique, à l'Observatoire de Tacubaya. Les comparaisons furent effectuées à l'aide de pyrhéliomètres à compensation électrique à Ouargla, Ariana et Montpellier, et avec un disque d'argent (silver-disc Pyrheliometer) à Tacubaya.

Dans le tableau I sont consignés les résultats des comparaisons obtenus en été 1927 à Montpellier (Bel-Air), qui prouvent une très bonne marche du coefficient du tube pyrhéliométrique en question. Ce coefficient ne change pas beaucoup, même en présence des nuages, comme il s'ensuit du tableau II, qui donne un exemple pris au hasard d'un jour d'été (avec une forte quantité de nuages blancs), à Montpellier.

Le même coefficient 0,0156 a été retrouvé à l'Observatoire de Tacubaya au Mexique d'après les comparaisons y effectuées avec un pyrhéliomètre à disque d'argent (S. I., n° 22).

Notons que les indications de nos principaux instruments de contrôle (pyrhéliomètre n° 178a à compensation électrique et pyrhéliomètre à disque d'argent S. I. n° 22), qui étaient en parfait accord, étaient exprimées dans la même échelle, celle de l'Institut smithsonien.

Il résulte des tableaux I et III une très bonne constance du coefficient du tube pyrhéliométrique n° A, qui n'a pas changé pendant trois ans à partir de la fin de 1925 quand il fut mis en service permanent. Ce tube, relié à un millivoltmètre de Richard, étant portatif et extrêmement simple à observer, nous a bien servi non seulement dans les oasis sahariennes, mais aussi à bord des navires et dans les hautes montagnes mexicaines.

Peut-être encore plus simples et maniables, mais avec une échelle réduite, sont les petits tubes combinés avec un millivoltmètre de poche du système Weston ayant une sensibilité 0 —3 mw avec 30 divisions en tout et une résistance de 10 ohms correspondant assez bien à celle de la pile. Ils contiennent de petites piles thermo-électriques (par exemple du modèle employé pour les solarimètres); les tubes ont des diaphragmes rectangulaires et sont destinés à être employés surtout sans verre protecteur, si le vent n'est pas trop violent dans la direction venant du soleil.

Nous donnons ci-après les résultats obtenus à l'Observatoire de Tacubaya avec deux petits tubes que nous appelons n° 1 et n° 3.

TABLEAU IV

Coefficients de deux petits tubes pyrhéliométriques (1 et 3)

a) *Tube n° 1 avec petit millivoltmètre de Weston*

SANS VERRE DE PROTECTION			AVEC UN VERRE PLAN		
Date 1928	Coefficients	Nombre d'observations	Date 1927	Coefficients	Nombre d'observations
3 — I	0.0582	7	17 — XII	0.0658	13
15 — I	587	5	22 — XII	658	13
16 — I	582	5	24 - XII	661	10
17 — I	586	6	3 — I (1928)	660	21

b) *Tube n° 3 avec le même millivoltmètre (0-30 divisions)*

SANS VERRE DE PROTECTION			AVEC UN VERRE PLAN		
Date 1928	Coefficients	Nombre d'observations	Date 1927	Coefficients	Nombre d'observations
12 — I	0.0652	8	7 — I	0.0726	26
29 — I	663	8	14/16 — I	731	18
30 — I	662	7	18/20 — I	733	33
			27/29 — I	728	11
			20 — I	728	11

Il s'ensuit du tableau IV que les valeurs moyennes diurnes des coefficients des deux tubes ne changent pas beaucoup d'un jour à l'autre.

Dans le tableau V, on voit aussi qu'il n'y a pas de grandes variations diurnes au milieu d'une seule journée, sauf peut-être dans le cas des voiles et brumes, qui influencent forcément l'exactitude des comparaisons. Il faut cependant signaler qu'en employant un verre plan de protection on constate quelquefois une augmentation légère du coefficient au commencement de chaque série de mesures.

Il semble qu'il se produit ici un échauffement progressif de la couche d'air contenue dans le tube pyrhéliométrique fermé par un verre. L'accroissement du coefficient qu'on voit dans les exemples du tableau V ne se manifeste qu'avec un verre plan, les séries des mesures sans verre de protection ne présentant pas des phénomènes analogues. Il faut noter pourtant qu'en utilisant le grand tube n° A, avec les larges diaphragmes

TABLEAU V

Exemples des variations diurnes du coefficient des petits tubes pyrhéliométriques

a) *Tube n° 3 avec petit millivoltmètre de Weston*

SANS VERRE DE PROTECTION		AVEC UN VERRE PLAN	
Temps vrai	Coefficient	Temps vrai	Coefficient
9.41	0.0658	8.07	0.0720
42	663	08	730
44	663	09	732
47	663	14	728
49	660	8.16	0.0730
51	658	—	
53	662	8.28	0.0720
9.55	660	30	721
		8.35	0.0731

Mesures effectuées le 30 janvier 1928 à Tacubaya, ciel sans nuages ni voiles.

b) *Tube n° 1 avec le même millivoltmètre (0-30 divisions)*

SANS VERRE DE PROTECTION			AVEC UN VERRE PLAN		
Temps vrai	Coefficient	Nébulosité	Temps vrai	Coefficient	Nébulosité
11.04	0.0589	Néb. o.	10.42	0.0654	Néb. o.
07	585		46	657	—
09	583	Voiles	53	660	—
12	581		56	660	—
15	590	Néb. o.	59	660	—
11.18	588	—	11.01	660	—

Mesures effectuées le 17 décembre 1927 à Tacubaya; beaucoup de légers voiles, surtout vers midi.

circulaires dont nous avons parlé plus haut, aucun changement systématique du coefficient du tube n'était constaté au commencement des séries de nos mesures. Dans les petits tubes, ayant des petits diaphragmes rectangulaires, ce phénomène disparaissait presque quand on facilitait la circulation de l'air dans l'intérieur par l'emploi de tubes moins étanches.

Du reste, le moyen le plus rationnel et le meilleur à tous points de vue est de faire les mesures sans aucun verre de protection. Ceci est facile, sauf dans les cas d'un vent soufflant trop fort dans la direction du tube.

L'étalonnage des tubes contenant une pile solarimétrique et une lentille sphéro-cylindrique a donné de bons résultats au point de vue de la constance de la marche du coefficient. Une longue série de comparaisons d'un tel tube (n° 20) a été effectuée en 1927 à U. S. Weather Bureau de Washington par les soins du docteur H.-H. Kimball et de M. J.-F. Hand. Ces comparaisons ont été établies avec un pyrhéliomètre de Marvin relié à un millivoltmètre enregistreur de Engelhard n° 22256.

Comme valeur moyenne de 326 comparaisons individuelles, le Dr Kimball a obtenu le facteur 0,0750 par division. Puisque la déviation totale de l'enregistreur de Engelhard représente 220 × 0,0750 = 1,65 gr. cal. par minute cm² à l'incidence normale, et que, d'autre part, elle nécessite un courant de 45 microampères, on obtient un voltage de

$$1068 \times 0.000045 = 0.048060 \text{ (volts)}$$

pour une résistance totale de circuit égale à 1068 ohms.

De ces déterminations, le Dr Kimball déduit que chaque calorie-gramme correspond à $\frac{0.048060}{1.65} = 29{,}1$ millivolts, autrement dit l'intensité d'une calorie par 1 cm² et par minute produit un courant thermo-électrique de 29,1 millivolts dans le tube n° 20 muni d'une lentille sphéro-cylindrique. Notons qu'un tel coefficient, établi sans recours à un millivoltmètre déterminé, est plus rationnel que les coefficients donnés pour un millivoltmètre spécial à chaque appareil; en général, c'est la méthode potentiométrique qu'il serait préférable d'employer ici, si des considérations pratiques ne s'y opposaient. Pourtant, il existe de très bons potentiomètres (1) (ex. de Leeds et Northrup), faciles à employer avec un petit galvanomètre à aiguille de Weston, mais ces instruments sont encore trop chers pour pouvoir remplacer les simples millivoltmètres, à lecture directe, reliés avec les tubes pyrhéliométriques.

Mentionnons enfin que les tubes pyrhéliométriques peuvent être employés avec de simples thermo-éléments composés de petites lames ou de très minces fils croisés exécutés avec les différents métaux ou alliages. Ces thermo-éléments, dans les ampoules bien vidées, sont placés à l'extrémité du tube, dont l'autre bout contient une simple lentille sphérique.

---

(1) Mentionnons, à titre d'information, qu'un excellent potentiomètre de Leeds et Northrup à Philadelphie coûte 250 dollars environ, tandis que de bons millivoltmètres français, anglais ou américains ne dépassent pas 50 dollars et ne coûtent pas généralement plus de 30 dollars. Remarquables comme exécution, sont les millivoltmètres de Weston; le petit modèle de poche coûte seulement 15 dollars environ.

Le courant thermo-électrique, ainsi renforcé, peut facilement atteindre plusieurs dizaines de millivolts; toutefois, il est préférable de ne pas placer la soudure exactement au foyer, mais à une certaine distance de ce dernier. Dans ce cas, les petits déplacements de la lentille qui peuvent se produire accidentellement ou après une certaine période d'un usage continu ne causeraient que des changements peu considérables du coefficient du tube.

Les tubes en question, contenant les themo-éléments dans le vide avec de simples lentilles sphériques, ont été employés par nous depuis plusieurs mois et ont donné de bons résultats.

Chapitre III

ÉTALONNAGE DES PYRHÉLIOGRAPHES THERMO-ÉLECTRIQUES

Ces appareils enregistreurs, décrits (1) en 1924 et construits régulièrement par les Etablissements Jules Richard, à Paris, fonctionnent sans interruption depuis 1925 à l'Ariana. Le Service Botanique Tunisien est la plus ancienne station qui enregistre l'intensité du rayonnement solaire au moyen de ces pyrhéliographes, qui se trouvent maintenant dans plusieurs observatoires des différents continents. C'est une raison de plus pour exposer avec les détails nécessaires la question de l'étalonnage de ces pyrhéliographes thermo-électriques, lesquels pourtant, comme tous les enregistreurs en général, ne peuvent prétendre à représenter plus que des instruments d'interpolation avec une précision réduite par rapport aux pyrhéliomètres à lecture directe. Ils ne peuvent jamais remplacer les instruments normaux à lecture directe et sont plutôt destinés à fournir des données graphiques pendant les heures ou périodes de la journée où l'observateur n'est pas à même d'effectuer les mesures directes avec un instrument normal. Les pyrhéliographes, comme du reste tous les enregistreurs, doivent être contrôlés aussi souvent que possible avec les pyrhéliomètres normaux. Ceci dit, occupons-nous des sources d'erreurs qui ne manquent jamais même dans les instruments les plus précis, et lesquelles, *a fortiori*, existent dans les pyrhéliographes thermo-électriques. Ces défauts se rapportent au fonctionnement de la pile diaphragmée, de la monture équatoriale et surtout du millivoltmètre enregistreur. Les piles du type Moll donnent une très bonne proportionnalité entre l'intensité du rayonnement qui les frappe et le courant thermo-électrique qui en résulte; ces piles n'ont pas non plus de coefficient de température, étant construites avec du manganine et du constantan. Il faut seulement les

(1) Voir la publication de l'auteur dans la « Revue d'Optique Théorique et Instrumentale » (T. 3, pp. 473-487, 1924) sous le titre « Sur un instrument thermo-électrique simple pour enregistrer l'intensité du rayonnement solaire ». Voir de même la note du 31 mars 1924 dans les « C. R. de l'Académie des Sciences » à Paris et les mémoires dans « Monthly Weather Review » (septembre 1924, Washington) et dans « Anales de la Sociédad Espanola de Fisica y Quimica », T. 22, Madrid 1924

tenir en état de propreté suffisante et nettoyer chaque jour le verre protecteur plan, indispensable dans l'emploi journalier de ces enregistreurs.

La question des diaphragmes donnant un certain angle sous lequel pénètrent les rayons non seulement du disque solaire, mais aussi d'une partie environnante de l'atmosphère autour du soleil, mérite une étude spéciale. Cela ne représente du reste pas une erreur instrumentale, mais une question touchant la comparabilité des différentes constructions pyrhéliométriques.

La monture équatoriale du pyrhéliographe doit être non seulement convenablement dirigée, mais aussi le mouvement d'horlogerie doit bien fonctionner pour suivre le soleil.

Comme nous l'avons déjà dit, la question la plus importante dans l'étalonnage des pyrhéliographes réside dans le fonctionnement des millivoltmètres enregistreurs. Disons tout de suite qu'ils partagent avec tous les systèmes galvanométriques le défaut de la non parfaite proportionnalité entre le courant et les déviations de l'aiguille du cadre mobile placé entre les deux bras de l'aimant. C'est cette source d'erreurs, qui n'est pas grave dans l'usage des millivoltmètres simples déjà gradués en tenant compte de la non proportionnalité, qui devient importante dans les pyrhéliographes dont nous nous occuperons dans ce qui suit.

Ecarts de la proportionnalité des millivoltmètres enregistreurs.

Chaque millivoltmètre donne déjà, par suite de l'hysteresis, certains écarts par rapport à l'échelle proportionnelle. Voici les résultats de l'examen électrique de deux millivoltmètres enregistreurs de Richard (n° 101277 de l'Ariana, en Tunisie, et n° 107029 en service à Tacubaya, au Mexique); cet examen était fait en passant un courant bien déterminé en millivolts et lisant ensuite la position de l'aiguille de l'enregistreur sur l'échelle de l'appareil ayant les divisions proportionnelles de 0 à 100. Cet examen de laboratoire fut établi sans les piles thermo-électriques et aussi sans encre dans la plume, qui n'était pas bloquée périodiquement comme c'est le cas dans les conditions normales pendant le fonctionnement du pyrhéliographe muni du millivoltmètre en question.

Dans le tableau VI, nous voyons que les écarts sont assez notables, surtout entre les divisions 30 et 70 de l'échelle proportionnelle. Ces écarts doivent naturellement produire leurs effets dans la répartition des coefficients pyrhéliographiques sous l'influence de la pile thermo-électrique diaphragmée et montée équatorialement. Mais on pourrait de suite faire cette objection que l'examen purement électrique des millivoltmètres présenté dans le tableau IV n'est pas immédiatement applicable dans la pratique pyrhéliographique. Pour l'étalonnage de ces derniers, il faut introduire encore la pile thermo-électrique dans le circuit et reproduire l'examen dans les conditions normales du fonctionnement de l'appareil. Outre l'influence principale de la non exacte proportionnalité des déviations de l'aiguille dans le champ de l'aimant, il faut tenir compte de quelques autres influences secondaires, mais importantes dans la pratique pyrhéliographique. Mentionnons aussi et surtout l'inertie de la plume du milli-

TABLEAU VI

Ecarts de l'échelle proportionnelle (sans pile thermo-électrique)

MILLIVOLTMÈTRE N° 101277				MILLIVOLTMÈTRE N° 107029			
Millivolts	Divisions		Ecarts	Millivolts	Divisions		Ecarts
	proport.	obtenues			proport.	obtenues	
50	100	100.0	0.0	40	100	100 0	0.0
45	90	88.7	1.3	36	90	88.7	1.3
40	80	78.2	1.8	32	80	76.8	3.2
35	70	67 5	2 5	28	70	65.3	4.7
30	60	57.1	2.9	24	60	55.0	5.0
25	50	46.7	3.3	20	50	44.7	5.3
20	40	36.7	3.3	16	40	34.7	5.3
15	30	27.4	2.6	12	30	24.9	5.1
10	20	18.0	2.0	8	20	16 0	4.0
5	10	8.7	1.3	4	10	8.2	1.8
0	0	0.0	0	0	0	0.0	0.0

voltmètre enregistreur, la cohésion de l'encre, le frottement sur le papier des diagrammes, l'effet du choc dans l'enregistrement par points, etc..., etc...; tout cela en somme tend à produire la diminution progressive du coefficient jusqu'à la plus haute division de l'échelle du millivoltmètre enregistreur.

Examen des millivoltmètres enregistreurs dans les conditions normales de l'usage pyrhéliographique.

Dans la figure 3 est présenté le schéma des connexions pour l'examen des millivoltmètres enregistreurs dans les conditions normales de l'usage pyrhéliographique. On y voit, dans le circuit du millivoltmètre enregistreur à examiner, la pile thermo-électrique qui sert pour le pyrhéliographe; cette pile est soigneusement protégée contre toute influence du rayonnement. L'introduction d'une petite résistance supplémentaire de 1 ohm ne change que très peu la résistance totale du circuit, dans laquelle la pile seule ajoute déjà 50 ohms environ.

Le milliampèremètre de précision (un « Siemens et Halske » avec 2 ohms de résistance intérieure et ayant l'échelle soigneusement vérifiée) sert pour comparer les divisions du millivoltmètre enregistreur avec les indications du milliampèremètre.

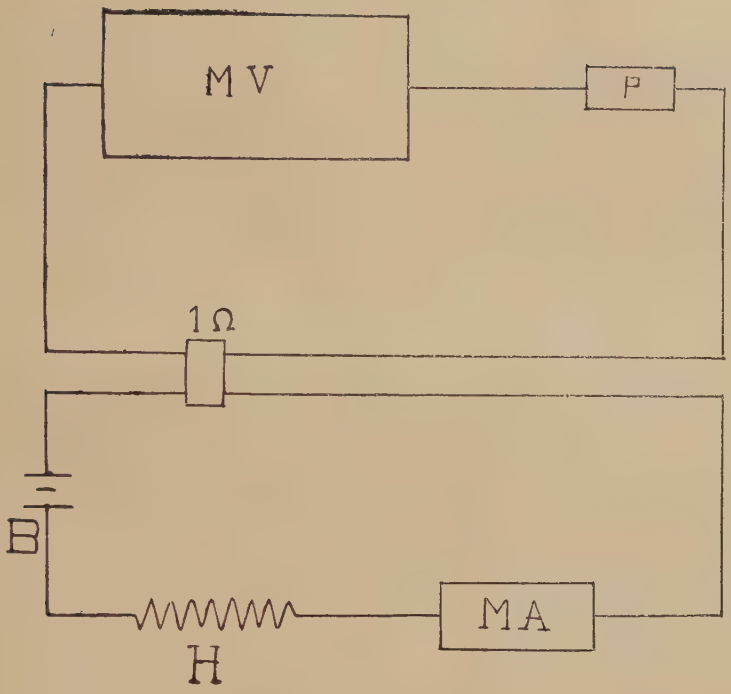


Fig. 3. — Connexions pour l'examen des millivoltmètres enregistreurs

TABLEAU VII

Examen du millivoltmètre enregistreur (Richard n° 101277) avec deux sensibilités : 0 — 50 et 0 — 25 millivolts avec la pile thermo-électrique (type Moll de grande surface n° A).

Millivolts	SENSIBILITÉ 0 — 50 mv		SENSIBILITÉ 0 — 25 mv		Corrections sans pile et encre
	Div. proport.	Ecarts	Div. proport.	Ecarts	
50	100	2.6			0.0
45	90	3.8			1.3
40	80	4.0			1.8
35	70	4.2			2.5
30	60	4.3			2.9
25	50	3.7	100	2.7	3.3
20	40	3.5	80	3.2	3.3
15	30	3.2	60	3.3	2.6
10	20	2.7	40	2.5	2.0
5	10	0.9	20	2.3	1.3
0	0	»	0	»	0

Dans les tableaux VII et VII *bis* sont présentés les résultats de l'examen de plusieurs millivoltmètres enregistreurs avec les différentes piles thermo-électriques dans le circuit, formé suivant la figure 3. On voit de suite que les écarts ne sont pas les mêmes dans les deux cas; par exemple, pour le millivoltmètre n° 101277 (sensibilité 0 — 50 mv) avec la pile n° A, on trouve un écart maximum de 4,3 (division 60 de l'échelle proportionnelle de 0 à 100), tandis que sans la pile et la plume avec l'encre on obtient seulement 2,9 pour la même division. Les valeurs numériques des écarts varient pourtant beaucoup d'un millivoltmètre à l'autre; on trouve aussi (voir le tableau VII *bis*) une certaine différence entre les écarts pendant la montée et la descente de la plume de l'enregistreur.

En nous basant sur les résultats obtenus dans les tableaux VII et VII *bis*, on pourrait entreprendre l'étalonnage définitif des pyrhéliographes en réduisant tout d'abord les indications fournies par les millivoltmètres enregistreurs en millivolts vrais et en comparant ensuite ces derniers avec les valeurs du rayonnement solaire obtenues avec le pyrhéliomètre de contrôle. Mais il est plus simple et même préférable de remplacer cette méthode physique par une grande série de comparaisons directes effectuées dans les différentes conditions météorologiques entre les indications des instruments normaux et les divisions directement lues sur l'échelle des millivoltmètres enregistreurs.

On trouve plus loin les résultats de ces étalonnages météorologiques pour plusieurs pyrhéliographes.

Tableau VII^{bis}

Examen des millivoltmètres enregistreurs avec les différentes piles thermo-électriques dans le circuit

Millivolts	Divisions proport.	Millivoltmètres enregistreurs n^{os}				
		106.299	104.411		103.715	
		pile n° A	n° 73	n° 9	montée	descente
40	100	— 0.8	4.0	3 5	0.9	0.9
35	87.5	0.8	4.6	4.5	1.6	1.6
30	75	1.8	5.2	4.8	2.0	2.1
25	62.5	2.2	5.1	4.9	2.4	2.3
20	50	2.0	4.7	4.4	2.4	2.3
15	37.5	1.6	4.0	2.8	1.7	1.9
10	25	1.3	3.3	2.4	1.2	1.6
5	12.5	0.9	2.0	2.0	0.6	1.0
0	0	»	»	»	»	»

Étalonnage des pyrhéliographes par comparaison directe.

Donnons tout d'abord les résultats des comparaisons directes effectuées au Service Botanique de l'Ariana pendant plusieurs mois, entre mai 1926 jusqu'en janvier 1927. Le pyrhéliographe de l'Ariana (millivoltmètre enregistreur de Richard n° 106299 avec la pile grande surface du type Moll n° 1) fut comparé régulièrement avec les indications simultanées d'un tube pyrhéliométrique n° A dont nous avons parlé précédemment (voir pp. 47-50), lequel a été à son tour contrôlé avec un pyrhéliomètre à compensation électrique et un actinomètre bi-métallique.

TABLEAU VIII

Coefficients du pyrhéliographe de l'Ariana en cal. gr. par cm² et min. par division de l'échelle proportionnelle du millivoltmètre enregistreur n° 106299

MOIS	DIVISIONS DE L'ÉCHELLE PROPORTIONNELLE DE 0 A 100 DU MILLIVOLTMÈTRE									
	21-30		31-40		41-50		51-60		61-70	
1926	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
Mai-Juin	»		»		»		186	(2)	187	(3)
Juillet	»		192	(1)	194	(1)	192	(4)	193	(4)
Août	197	(4)	198	(2)	197	(3)	199	(8)	198	(4)
Septembre	209	(2)	206	(4)	198	(3)	198	(5)	»	
Octobre	197	(2)	194	(3)	195	(3)	197	(6)	192	(2)
Novembre, Décembre et Janvier 1927	200	(2)	200	(3)	192	(2)	193	(3)	195	(3)
Moyennes	201	(10)	198	(13)	195	(12)	194	(28)	193	(16)

N. B. — Les valeurs moyennes ont été obtenues sans tenir compte des différents nombres de comparaisons effectuées chaque mois. Ces derniers sont indiqués entre parenthèses

Dans le tableau VIII sont présentés les résultats ainsi obtenus, d'où il s'ensuit que les valeurs du coefficient augmentent un peu vers les divisions plus basses de l'échelle millivoltmétrique de 0 à 100. On obtient notamment :

Divisions : 15 25 35 45 55 65 75
Coefficient : (204) 201 198 195 194 193 (192)
0,0

ou au moyen d'une simple interpolation :

Divisions : 10 20 30 40 50 60 70 80
Coefficient : (205) 202 199 196 195 194 193 (192)
0,0

Le coefficient moyen serait 0,0195 entre les divisions 40 et 80 de l'échelle proportionnelle du millivoltmètre, ce qui veut dire que chaque division de cette échelle correspond dans ce cas à une intensité moyenne égale à 0,0195 cal. gram. par minute et cm² de la surface exposée normalement au rayonnement solaire. Pour la division 100 de l'échelle, on obtiendrait comme valeur probable l'intensité 1,90 cal. gr. cm² min.

Les coefficients du tableau VIII permettent d'établir le tableau d'étalonnage du pyrhéliographe de l'Ariana présenté dans le tableau IX. Ce tableau permet facilement de convertir les divisions de l'échelle proportionnelle en valeurs correspondantes de l'intensité du rayonnement en unités absolues.

TABLEAU IX

Étalonnage du pyrhéliographe de l'Ariana (pile n° 1) donnant la valeur en cal. gr. par cm² et min. pour chaque division de l'échelle du millivoltmètre enregistreur n° 106299

DIVISIONS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.
0	.00	.02	.04	.06	.08	.10	.12	.14	.16	.18
10	.21	.23	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.36	.38
20	.40	.42	.44	.46	.48	.50	.52	.54	.56	.58
30	.60	.62	.64	.65	.67	.69	.71	.73	.75	.77
40	.79	.81	.83	.85	.87	.89	.90	.92	.94	.96
50	.98	1.00	1.01	1.03	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13	1.15
60	1.16	1.18	1.20	1.22	1.23	1.25	1.27	1.29	1.31	1.33
70	1.35	1.37	1.38	1.40	1.42	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52
80	1.54	1.56	1.57	1.59	1.61	1.63	1.65	1.66	1.68	1.70
90	1.72									

Malgré les variations assez régulières du coefficient pyrhéliographique obtenues dans le tableau VI, il y a lieu de remarquer que, dans les comparaisons individuelles, on obtient fréquemment des écarts assez variables par rapport aux variations moyennes établies plus haut. Cela dépend des conditions météorologiques et surtout de la présence autour du soleil de voiles quelquefois peu visibles qui influencent cependant beaucoup la

comparabilité des mesures. Il faut compter aussi avec la propreté du verre plan protecteur devant la pile thermo-électrique et l'humidité de l'air qui l'entoure.

TABLEAU X

Équivalence en calories-grammes par cm² et minute des divisions du pyrhéliographe (pile n° 20, millivoltmètre enregistreur n° 107029) suivant les étalonnages indépendants effectués à Tacubaya (en 1927) et à Paris (en 1925)

DIVISIONS	COEFFICIENTS	Cal. gr. cm² et min.	
		Tacubaya	Paris
5	0.0236		0.12
10	234		23
15	232		35
20	230		46
25	228		57
30	227		68
35	226	0.79	79
40	225	0.90	90
45	222	1.00	1.00
50	220	1.10	1.10
55	218	1.20	1.20
60	205	1.23	(1.29)
65	202	1.32	
70	198	1.39	
75	194	1.46	
80	193	1.54	
85	192	1.63	
90	(191)	(1.72)	

N. B. — Les valeurs entre parenthèses, étant obtenues par l'extrapolation, sont douteuses. Vu l'altitude du soleil à Paris, l'étalonnage n'a pu y être effectué pour les divisions dépassant 60°; d'autre part, l'étalonnage du pyrhéliographe en question avec le pyrhéliomètre n° 22 à disque d'argent était fait, à Tacubaya, seulement vers midi, ce qui explique le manque de petites divisions de l'échelle dans les résultats mexicains.

Pour ne pas nous baser sur les résultats d'étalonnage d'un seul pyrhéliographe, nous donnons ci-après, dans le tableau X, l'examen analogue d'un autre appareil et notamment du pyrhéliographe du Service Météorologique du Service Mexicain qui fonctionne depuis 1926 à l'Observatoire de Tacubaya. Cet appareil, avant d'être envoyé au Mexique par les Etablissements Jules Richard à Paris, fut auparavant étalonné, en été 1925, à l'Observatoire météorologique du Parc-Saint-Maur (Seine). Cet étalonnage a été effectué par les soins du docteur Brazier, au moyen des comparaisons avec un pyrhéliomètre à disque d'argent récemment reçu à Paris de l'Institut smithsonien de Washington.

D'autre part, le même pyrhéliographe a été comparé à l'Observatoire de Tacubaya, pendant la première moitié de l'année 1927, avec un autre pyrhéliomètre à disque d'argent (S. I. n° 22) dont le coefficient a été établi à Washington. On constate dans le tableau X le parfait accord entre ces deux séries de comparaisons, indépendamment exécutées en France et au Mexique.

On y voit aussi un assez brusque changement du coefficient pyrhéliogra-

TABLEAU XI

Résultats d'étalonnage des différents pyrhéliographes

DIVISIONS	n° 1	n° 20	n° 42	n° 41	n° 43	n° 137	n° 29	n° 25
	cal	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.
0								
10	.21	.23	.20	.22	.24	.23	.21	.19
20	.40	.46	.39	.43	.47	.45	.43	.39
30	.60	.68	.59	.63	.70	.64	.62	.56
40	.79	.90	.78	.82	.94	.83	.80	.72
50	98	1.10	.97	1.01	1.15	1.02	.98	.90
60	1.17	1.23	1.16	1.19	1.37	1.20	1.15	1.06
70	1.35	1.39	1.35	1.37	1.58	1.36	1.31	1.22
80	1.54	1.54	(1.54)	(1.54)	»	(1.54)	1.48	1.38
90	(1.72)	1.72	»	»	»	»	»	1.52
100	»	»	»	»	»	»	»	(1.66)

N. B. — L'étalonnage des pyrhéliographes n° 1 (Ariana) et n° 20 (Tacubaya) a été donné plus haut; les autres pyrhéliographes ont été étalonnés à l'Observatoire du Parc-Saint-Maur et nous avons transcrit les résultats d'après les certificats correspondants y établis par le Dr Brazier sur la demande des Etablissements Jules Richard, à Paris, constructeurs de ces appareils.

phique de Tacubaya entre les divisions 55 et 60 de l'échelle, ce qui est en rapport avec les écarts de la proportionnalité du millivoltmètre correspondant n° 107029. Ces écarts dépassent 5 divisions dans ce dernier enregistreur, tandis que dans l'appareil de l'Ariana ils atteignent seulement 3,3 divisions; ces écarts sont donnés d'après l'examen sans pile ni encre pour les deux millivoltmètres en question.

Dans le tableau XI, nous trouvons les résultats d'étalonnage de plusieurs pyrhéliographes thermo-électriques. Il en résulte que les coefficients varient dans des limites assez grandes suivant les millivoltmètres et aussi les piles employés dans chaque appareil.

Chapitre IV

ÉTALONNAGE DES SOLARIMÈTRES ET INFLUENCE DU DIAMÈTRE DES VERRES HÉMISPHÉRIQUES

Dans l'étalonnage des solarimètres (1), il faut tenir compte non seulement de la position toujours horizontale des piles solarimétriques, mais aussi du fait qu'elles reçoivent, en plus de la radiation directe du disque solaire, le rayonnement diffusé venant de toutes les parties de l'atmosphère terrestre.

L'effet de l'horizontalité se traduit par une diminution de l'intensité du rayonnement direct du soleil (proportionnelle à *Sin* de l'altitude du soleil au-dessus de l'horizon) par rapport aux valeurs simultanées obtenues à l'incidence normale.

Il s'ensuit la nécessité d'effectuer les quatre déterminations et computations suivantes pour pouvoir comparer les lectures solarimétriques avec les mesures effectuées en même temps avec un pyrhéliomètre normal :

A. Il faut déterminer séparément l'intensité du rayonnement diffusé, en plaçant pour cela un petit dispositif « cache-soleil » devant la pile solarimétrique (2), qui reste alors dans l'ombre et reçoit seulement la radiation diffusée par les couches atmosphériques.

B. La valeur de l'intensité du rayonnement diffusé, ainsi obtenue, est ensuite soustraite de la lecture solarimétrique ordinaire (sans l'usage du dispositif « cache-soleil »); on obtient alors la valeur du rayonnement solaire direct tombant à la surface horizontale sans l'addition des rayons diffusés par l'atmosphère.

C. Cette valeur du rayonnement venant uniquement du disque solaire est alors directement comparable avec l'intensité mesurée simultanément

(1) Voir la description des solarimètres dans la communication de l'auteur dans le n° 30 (septembre 1927) de la « Météorologie », revue mensuelle de la Société Météorologique de France, et aussi dans Monthly Weather Review » (Washington, 1926).

(2) Voir la figure 1 (page 11 de ces Annales) dans le mémoire de l'auteur, sous le titre « Sur les instruments solarimétriques et spectropyrhéliométriques pour les mesures totales, normales et partielles du rayonnement solaire » — Tunis 1928. — Ce mémoire contient 14 figures représentant les solarimètres, les pyrhéliomètres et les spectrographes.

avec un pyrhéliomètre normal, à la condition de multiplier cette intensité par le *Sin* de l'altitude correspondante du soleil ou, ce qui revient au même, par le *Cos* de sa distance zénithale.

L'exemple suivant, tiré de longues séries de mesures effectuées au Service Botanique de l'Ariana, nous montre bien comment on procède :

Ariana, le 20 février 1928, 12 h. 55 — 13 h. 05 p. m.

A

Position du zéro avant la lecture	0,2
Lecture solarimétrique totale (soleil et ciel)	40,1
Position du zéro après la lecture	0,4
Valeur solarimétrique totale (t) corrigée par la soustraction de la position moyenne du zéro	39,8

B

Lecture du solarimètre avec le dispositif « cache-soleil » mis devant la pile solarimétrique	3,9
Position du zéro (moyenne de deux positions, avant et après la dernière lecture)	0,3
Valeur solarimétrique partielle (ciel seulement) corrigée (d)	3,6

C

Ces cinq ou six lectures de la position de l'aiguille du solarimètre, déviée ou non, ne demandant généralement que deux minutes au plus, on détermine en même temps, par un pyrhéliomètre de contrôle, l'intensité Q moyenne du rayonnement solaire à l'incidence normale (Q = 1.23 à 13 heures). Outre cela, on lit l'altitude du soleil (h = 40° 1 à 13 heures) avec un petit théodolite; une précision d'un dixième de degré suffit généralement. L'altitude du soleil (h) peut être mesurée avant et après les lectures solarimétriques quoiqu'une seule lecture du théodolite suffise généralement.

Le coefficient solarimétrique est obtenu alors au moyen de la formule :

$$C = \frac{Q \text{ Sin } h}{t - d}$$

Substituant ici les valeurs numériques figurant dans notre exemple et admettant que l'intensité Q (mesurée avec un pyrhéliomètre à compensation électrique) était alors Q = 1,23 et l'altitude du soleil 40° 1, on trouve :

$$C = \frac{1.23 \times \text{Sin } 40°1}{39.8 - 3.6} = \frac{0.792}{36.2} = 0.0219$$

pour une altitude du soleil égale à 40° 1. Ajoutons que notre exemple nous permet en même temps d'établir la valeur du rayonnement diffusé en % de la lecture solarimétrique totale (soleil et ciel par exemple).

On obtient dans notre cas :

$$3,6 : 39,8 = 9,0 \ \%$$

Le pourcentage du rayonnement diffusé, comparé avec le rayonnement du soleil seul, serait un peu plus grand et notamment :

$$3{,}6 : (39{,}8 - 3{,}6) = 9{,}9\ \%$$

Les valeurs du rayonnement diffusé qui, par un ciel sans nuages, oscillent généralement à près de 10 % du rayonnement total sur la surface horizontale de la terre, peuvent être singulièrement accrues en cas de nuages blancs autour du soleil. Elles peuvent facilement atteindre dans ce cas 30 % ou même plus de l'intensité totale.

L'expérience nous montre que le coefficient solarimétrique obtenu pour les différentes altitudes du soleil n'est constant qu'à la condition que le diamètre du verre hémisphérique qui couvre la pile thermo-électrique ne soit pas trop petit. Outre le diamètre, l'épaisseur du verre exerce, elle aussi, une certaine influence.

C'est le docteur H.-H. Kimball, de Washington (U. S. Weather Bureau), qui a bien voulu attirer notre attention sur ce fait, lequel fut non seulement constaté dans nos séries comparatives des mesures exécutées en Europe et en Afrique du Nord, mais qui fut évalué numériquement pour les différents diamètres et épaisseurs du verre hémisphérique. Les résultats ainsi obtenus à Montpellier (Bel-Air) (1), avec la collaboration constante de mon assistant M. Z. Lemanski, sont présentés dans les tableaux suivants :

TABLEAU XII

Variations (en %) du coefficient solarimétrique (par rapport aux valeurs obtenues à midi) pour les différents diamètres et épaisseurs du verre hémisphérique employé.

DIAMÈTRE (épaisseur) du verre en m/m	DATES	ALTITUDE DU SOLEIL EN DEGRÉS						
		70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
	1927	%	%	%	%	%	%	%
106 (1)	5 juillet p.	0	0	0	0	0	+ 1	.
80 (1)	1 août p.	.	0	0	0	0	0	.
50 (1)	28 août p.	.	.	0	0	+ 2	0	— 2
40 (1)	25 juillet p.	.	0	0	0	0	+ 2	+ 4
40 (2)	25 juillet p.	.	0	.	+ 2	+ 5	+10	+18
38 (2)	20 juin a.	.	0	+ 1	+ 3	+ 4	+ 8	.
30 (1)	20 juin a.	.	0	+ 2	+ 4	+ 6	+ 9	.
30 (2)	21 juin a.	.0	0	+ 1	+ 3	+ 6	+19	+24

a = a. m. p = p. m.

(1) Nous tenons à présenter ici nos remerciements très sincères à M. Chaptal, l'aimable directeur de Bel-Air, pour sa permission d'utiliser sa station agricole, si admirablement située, pour nos mesures temporaires. Nous remercions aussi M. Anduze de Saint-Paul pour son aide bénévole à diverses occasions.

TABLEAU XIII

Variations du coefficient solarimétrique (en % des valeurs obtenues vers midi). Diamètre du verre hémisphérique = 50 m/m ; épaisseur du verre = 1 m/m.

DATES	ALTITUDES DU SOLEIL						
	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
1927	%	%	%	%	%	%	%
24 juin a.	0	+ 2	+ 1	— 1	— 1	.	.
24 juin p.	.	0	— 2	— 1	+ 1	.	.
26 juillet a.	0	+ 1	+ 2	+ 1	— 5	— 6	.
30 juillet a.	.	0	— 2	— 5	— 7	.	.
30 juillet p.	.	0	.	.	— 3	— 6	.
1 août a.	.	0	.	.	— 4	.	.
1 août p.	.	.	0	— 1	.	+ 6	.
3 août a.	.	0	0	+ 1	0	.	.
3 août p.	.	.	0	— 2	+ 1	.	.
10 août p.	.	.	0	0	+ 2	+ 3	+ 5
28 août p.	.	.	0	0	+ 2	0	— 2
30 août a.	.	0	0	— 1	— 5	.	.
30 août p.	.	0	0	+ 2	.	+ 4	.
Moyennes	.	.	.	— 0.6	— 1.7	+ 0.2	(+ 1.5)

TABLEAU XIV

Variations du coefficient solarimétrique (en % des valeurs obtenues vers midi)

DATES	ALTITUDES DU SOLEIL EN DEGRÉS							
	60°	50°	40°	35°	30°	25°	20°	15°
1927	%	%	%	%	%	%	%	%
DIAMÈTRE 40 M/M — ÉPAISSEUR 1 M/M								
24 juillet p.	.	0	+ 1	+ 3	+ 5	+ 8	+ 11	+ 14
25 juillet p.	.	0	0	0	0	+ 1	+ 2	.
10 août p.	.	.	0	— 3	— 5	— 3	— 2	— 3
27 août p.	.	0	0	0	— 1	— 3	— 5	— 1
28 août p.	.	0	0	0	0	— 3	— 6	.
DIAMÈTRE 40 M/M — ÉPAISSEUR 2 M/M								
24 juillet p.	.	0	0	+ 1	+ 3	+ 5	+ 8	+ 11
25 juillet p.	0	0	+ 2	.	+ 5	.	+ 10	.

TABLEAU XV

Variations du coefficient solarimétrique (en % des valeurs obtenues vers midi) pour les différentes altitudes du soleil au-dessus de l'horizon.

DATE	ALTITUDES DU SOLEIL EN DEGRÉS							
	60°	50°	40°	35°	30°	25°	20°	15°
1927								
DIAMÈTRE DU VERRE : 30 M/M. — ÉPAISSEUR : 2 M/M								
11 avril	»	»	0	5	»	»	»	12
13 avril	»	»	0	3	6	9	»	»
14 avril	»	0	6	12	15	21	24	47
16 avril	»	»	0	3	6	9	12	18
19 avril	»	0	3	6	10	»	»	»
21 avril	»	0	3	9	12	18	24	29
22 avril	»	0	2	5	10	»	»	»
6 juin	0	4	8	10	12	15	21	35
9 juin	0	0	3	6	12	»	»	»
21 juin	0	0	3	6	9	12	18	25
22 juin	0	0	5	12	18	»	»	»
24 juin	0	0	8	14	18	25	»	»
28 juin	0	0	6	12	16	21	25	»
Moyennes	—	—	4	8	12	16	21	28
DIAMÈTRE DU VERRE : 30 M/M. — ÉPAISSEUR : 1 M/M								
18 avril a.	0	0	0	0	3	6	9	»
18 avril p.	0	1	3	6	9	12	»	»
20 avril a.	0	3	6	9	10	12	15	18
20 avril p.	0	3	6	9	12	18	21	»
21 avril a.	0	0	0	0	0	0	»	»
21 avril p.	0	0	3	4	5	6	9	18
12 avril p.	0	3	10	12	14	16	18	»
Moyennes	—	—	4	6	8	10	14	18

a) Dans le tableau XII sont donnés les changements du coefficient solarimétrique, calculés en % des valeurs obtenues vers midi pour les altitudes voisines de 60° au moins. Ces variations pourcentuelles sont établies pour les diamètres différents du verre hémisphérique et notamment pour 106, 80, 50, 40, 38 et 30 m/m; pour les diamètres plus petits 40 et 30 m/m), les résultats sont donnés pour deux épaisseurs : 1 à 2 m/m;

b) Dans les tableaux suivants (tableaux XIII, XIV et XV), les variations du coefficient solarimétrique en fonction de l'altitude du soleil au-dessus de l'horizon sont déterminées séparément pour trois diamètres (50, 40 et 30 m/m) seulement.

L'examen de tous ces tableaux nous conduit immédiatement aux conclusions suivantes :

1° Pour éviter que les coefficients ne présentent un accroissement régulier au fur et à mesure que l'altitude du soleil diminue, il faut que le diamètre du verre hémisphérique atteigne 40 m/m au moins, avec épaisseur du verre de 1 m/m au plus dans ce cas;

2° Le diamètre de 50 m/m du verre hémisphérique donne déjà un coefficient solarimétrique suffisamment indépendant de l'influence systématique de l'altitude du soleil, sauf le cas des variations accidentelles dues au changement des conditions du ciel.

Dans le cas du diamètre de 50 m/m, l'épaisseur du verre de 1 m/m peut être légèrement dépassée sans nuire aux résultats ainsi obtenus.

Il n'est donc pas nécessaire ni utile d'utiliser des diamètres par trop grands pour les verres hémisphériques des solarimètres, et l'usage des verres de 50 m/m, avec une épaisseur de 1 ou 1 m/m ½, peut être considéré comme suffisant dans la pratique solarimétrique pour obtenir un coefficient unique pour toutes les altitudes du soleil. Il est peut-être superflu de noter que non seulement pour les solarimètres, mais pour tous les actinomètres en général, on ne peut pas espérer obtenir de bonnes comparaisons ou même des mesures précises de l'intensité du rayonnement solaire quand le soleil touche presque l'horizon. Il faudrait alors prendre des précautions spéciales pour l'horizontalité des piles et pour la détermination exacte de l'altitude du centre du disque solaire pour pouvoir faire des comparaisons solarimétriques vers 5° ou moins au-dessus de l'horizon.

Les tableaux XIII, XIV et XV montrent que les changements du coefficient des solarimètres obtenus par comparaison dans les différents jours ne sont pas toujours les mêmes, ce qui est dû sûrement à la variabilité extrême des conditions météorologiques. Pourtant, les variations du coefficient restent toujours positives pour le diamètre de 30 m/m et même pour 40 m/m (si l'épaisseur du verre est de 2 m/m); pour les diamètres de 50 m/m et aussi de 40 m/m (1 m/m d'épaisseur) on rencontre, dans les tableaux XIII et XIV, beaucoup d'écarts négatifs pour les positions du soleil plus basses par rapport à l'horizon.

L'épaisseur du verre influe beaucoup, surtout pour les petits diamètres du verre hémisphérique. D'après le tableau XV, on obtient pour le diamètre de 30 m/m :

	Altitudes du soleil				
Épaisseur	60°	40°	30°	20°	15°
1 m/m	0 %	4 %	8 %	14 %	18 %
2 m/m	0 %	4 %	12 %	21 %	28 %

On voit que, même pour les petits diamètres de 30 m/m, qui étaient employés dans les premiers solarimètres, fabriqués en Europe, on rend les coefficients moins dépendants de l'altitude du soleil quand le verre devient plus mince. L'accroissement du coefficient, presque insignifiant jusqu'à

Tableau XVI

Exemple des variations du coefficient solarimétrique obtenues simultanément avec deux diamètres différents de verre hémisphérique

TEMPS	ALTITUDE du SOLEIL	DIAMÈTRE : 30 m/m ÉPAISSEUR : 2	58 m/m 1,5
12-14 heures	67°5	0.019	0.020
	61°0	19	21
14 15 heures	52°5	20	21
	49°3	30	21
	46°2	20	21
15-16 heures	40°3	21	21
	36°8	21	21
	32°4	21	21
	27°0	21	21
17-18 heures	23°6	21,5	19
	20°5	22	20
	17°9	22	20
	15°7	25	20
	13°2	34	20
18-18 h. 1/2	11°3	37 A	20
	9°6	0.038	19

A. Accroissement rapide du coefficient solarimétrique, pour le diamètre de 30 m/m du verre hémisphérique, à partir de l'altitude du soleil de 15° au-dessus de l'horizon. Par contre, le solarimètre muni du verre ayant le diamètre de 58 m/m ne donne pas de variations régulières dues à la position du soleil. Les petites variations irrégulières sont probablement en rapport avec la présence des nuages blancs (Cu) qui sont apparus pendant ce jour d'été à Montpellier vers midi et qui tendaient à disparaître le soir vers dix-sept heures.

40° de l'altitude du soleil, devient plus rapide à partir de 20° et monte brusquement pour les positions du soleil proches de l'horizon. Les variations de 20-30 % données ici pour les altitudes voisines de 15° par rapport à l'altitude de 50° du soleil présentent des accroissements moyens de coefficient solarimétrique pour une pile couverte par un petit verre hémisphérique de 30 m/m de diamètre. Il faut cependant remarquer que, dans certaines conditions moins favorables, et surtout en présence des quantités variables de nuages ou de voiles, on observe parfois des changements atteignant 100 % ou plus du coefficent solarimétrique pour le diamètre du verre de 30 m/m (épaisseur de 2 m/m). Par contre, on trouve, dans les mêmes conditions, fréquemment des changements négatifs, généralement de caractère assez irrégulier, pour les diamètres du verre de 40 m/m (épaisseur 1 m/m) et de 50 m/m ou plus.

Dans le tableau XVI, nous trouvons un exemple des variations du coefficient solarimétrique, obtenues simultanément avec deux diamètres différents du verre hémisphérique : 30 m/m (épaisseur 2 m/m) et 58 m/m (épaisseur 1 m/m ½). On voit que, pour le petit diamètre du verre, le coefficient commence à monter brusquement à partir de l'altitude du soleil de 15° environ; pour une altitude de 10°, le coefficient solarimétrique est presque doublé. Par contre, le même coefficient pour un verre de 58 m/m ne montre que des changements plutôt accidentels, positifs ou négatifs, qui se tiennent tous les deux dans des limites assez restreintes.

En employant les verres hémisphériques de 30 m/m, il faut donc établir l'étalonnage du solarimètre en fonction de l'altitude du soleil, ce qui n'est pas nécessaire pour les diamètres plus grands, par exemple pour 50 m/m.

Dans ce dernier cas, un coefficient unique suffit dans la pratique solarimétrique.

F. BŒUF

CLIMAT SOLAIRE THÉORIQUE SOUS LA LATITUDE 36°49' NORD

(STATION DU SERVICE BOTANIQUE DE TUNISIE)

Dans une précédente note (1), nous avons résumé l'intérêt que présente la mesure du rayonnement solaire au point de vue du développement, de l'acclimatement et de la transformation des végétaux, indiqué brièvement la constitution de ce rayonnement, l'action de l'atmosphère et de la surface du sol sur la radiation.

Nous posions en principe que la base de toute étude de la climatologie d'un lieu donné doit être le calcul de la quantité théorique de radiation que le soleil rayonne dans la direction de ce lieu et la mesure de la quantité de radiation qui parvient à ce lieu; nous indiquions que les calculs théoriques avaient été exécutés pour notre Station par M. Milankovitch, professeur à la Faculté des Sciences de Belgrade, et que notre Station s'était outillée pour enregistrer la radiation solaire au moyen de pyrhéliographes de M. Gorczynski.

Le but de la présente note est de publier les résultats des calculs de M. Milankovitch en les accompagnant d'un commentaire destiné à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas familiarisés avec les causes des variations périodiques diurnes et annuelles des quantités de chaleur reçues par un lieu.

Ces résultats sont valables pour tous les points du globe placés sous notre parallèle.

I. VARIATION DIURNE DE LA RADIATION

La radiation solaire peut être reçue sur un plan qui reste perpendiculaire à la direction des rayons (*surface normale*) ou sur une *surface horizontale* représentée par un sol plat. Aux points de vue climatologique et physiologique, les deux cas sont à envisager : un animal, une plante isolée présentent à la radiation solaire une surface dont une partie reste normale à la direction des rayons, et ils reçoivent par conséquent une quantité de chaleur indépendante de la hauteur du soleil, quantité variant peu suivant les heures du jour et les saisons. Qui ne s'est aperçu de cet effet sur soi-même par un jour ensoleillé d'hiver ?

(1) F. Bœuf : *Le rayonnement solaire. Généralités.* « Annales du Service Botanique » 1925, fasc. 1.

Par contre, le sol horizontal reçoit, par unité de surface, une quantité de radiation variable avec la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon ou, ce qui revient au même, avec l'angle que font ses rayons avec la verticale du lieu (distance zénithale Z).

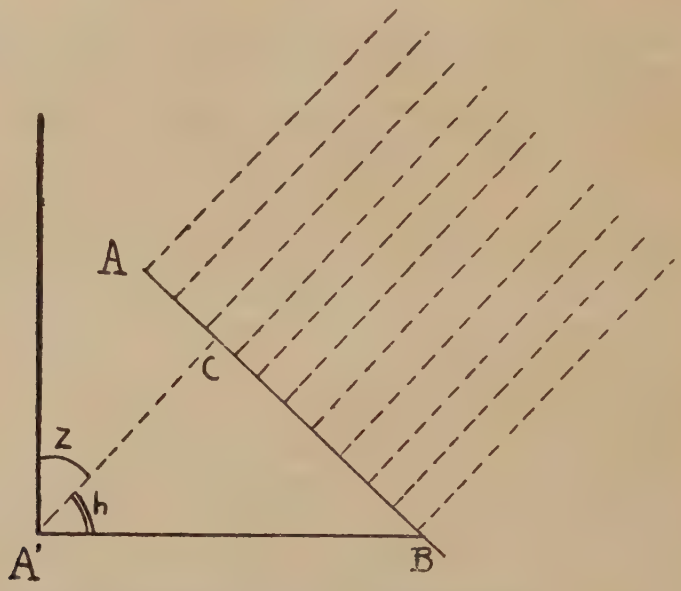


Fig. 1. **Proportion de radiation reçue par une surface horizontale**

La *figure 1* montre cette influence de la hauteur zénithale du soleil. En raison de l'éloignement de ce dernier, ses rayons peuvent être considérés comme parallèles. Une surface normale à la direction de ces rayons représentée par sa trace *A B* recevra donc une quantité de radiation plus grande qu'une surface horizontale égale représentée par *A' B*. A cette dernière ne parviennent que les rayons qui frappent *C B*, soit par rapport à la première :

$$\frac{C\ B}{A\ B} = A\ B \sin h$$
$$= A\ B \cos Z$$

h étant la hauteur angulaire du soleil au-dessus de l'horizon et Z sa distance angulaire zénithale; la dernière expression est la plus employée.

Si l'on fait abstraction d'autres facteurs que nous envisagerons plus loin, la quantité de chaleur reçue par unité de surface du sol horizontal dépend de la hauteur du soleil, puisque c'est la quantité parvenue sur la même surface placée normalement, multipliée par *Cos* Z. Cette valeur de *Cos* Z varie comme suit pour des angles zénithaux allant de 0° (soleil au zénith) à 90° (soleil à l'horizon) :

Angles zénithaux	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Cos. z	1	0,985	0,940	0,866	0,766	0,643	0,500	0,342	0,174	0

La valeur de *Cos Z* varie rapidement suivant la hauteur du soleil. La quantité de calories reçue par le sol subit donc des fluctuations beaucoup plus considérables que celles qui intéressent les organismes (dont la surface n'est pas horizontale). Ce fait constitue un avantage considérable pour les organismes qui utilisent l'énergie solaire. C'est probablement l'explication du réveil de la végétation alors que le sol est encore très froid.

Il convient donc d'étudier séparément les variations de la radiation reçue par unité de surface normale et par unité de surface horizontale.

1. — **Variation diurne de la radiation sur une surface normale.** — La quantité de radiation solaire reçue par une surface restant normale aux rayons est inversement proportionnelle au carré de la distance de cette surface au soleil. L'orbite de la terre étant une ellipse et non un cercle, cette distance varie à mesure que la terre se déplace sur son orbite. Nous pouvons considérer cette variation comme négligeable pour la durée d'une période diurne d'insolation.

Si aucune cause perturbatrice n'intervenait, une surface normale aux rayons solaires recevrait donc, du lever au coucher du soleil, une quantité à peu près constante de radiations pendant la durée d'une journée et cette quantité serait inversement proportionnelle au carré de la distance de la terre au soleil suivant les jours de l'année. Nous envisagerons cette deuxième question au paragraphe traitant de la variation annuelle de la radiation.

Cette valeur constante, ou constante solaire, définie dans notre précédente note, ne pourrait être observée qu'à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. Une partie de la radiation est captée par les éléments de l'atmosphère et ne parvient pas à la surface du globe. On comprend que cette absorption varie avec l'épaisseur des couches atmosphériques traversées. La densité des couches diminue à mesure que l'on s'éloigne de la terre, et la variation de la masse d'air traversée (masse atmosphérique) suit une loi compliquée dont l'exposé ne saurait être envisagé ici.

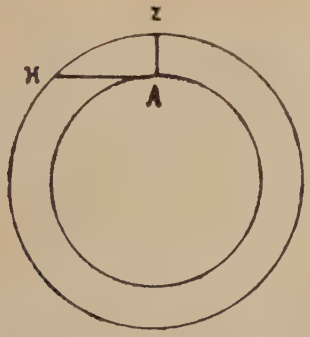


Fig. 2. **Variation de la masse atmosphérique traversée par les rayons solaires (schéma)**

La *fig. 2*, dans laquelle les deux cercles concentriques représentent

la terre et les couches inférieures de l'atmosphère, montre que l'épaisseur *A H* traversée lorsque le soleil est à l'horizon du point *A* est plus grande que l'épaisseur *A Z* correspondant à la position zénithale du soleil.

L'absorption atmosphérique est le fait de tous les gaz de l'atmosphère et des particules solides ou liquides qu'elle tient en suspension. Les deux facteurs principaux sont l'acide carbonique et surtout la vapeur d'eau. Si la constitution de l'atmosphère varie peu d'un point à un autre du globe et d'un moment à l'autre sous le rapport des gaz principaux (azote et oxygène), il n'en est pas de même de l'acide carbonique et surtout de la vapeur d'eau, et l'on a été amené à considérer, sous le nom de *coefficient de transmission* de l'atmosphère, la proportion de radiation (0,9 — 0,8 — 0,7 — 0,6, etc...), qui parvient au sol. Nous avons dit, dans notre précédente note, que l'absorption des radiations par l'atmosphère n'est pas seulement quantitative mais élective, chaque élément de l'atmosphère retenant les radiations de diverses longueurs d'onde (1). Faute de pouvoir étudier ce phénomène dans ses détails, nous avons pensé qu'il serait néanmoins utile de l'apprécier dans son ensemble.

Le tableau I placé à la suite du texte donne, pour chaque dixième jour de l'année, la marche de l'insolation (quantité de calories reçue par cm^2 minute) pour des coefficients de transmission de 0,6 — 0,7 — 0,8 — 0,9, sur une surface normale (2).

Les résultats sont donnés pour constante solaire = 2. La valeur de cette constante, un peu variable suivant l'activité solaire, est actuellement considérée comme égale à 1,94. Nos chiffres ne doivent servir que comme valeurs de base; ils doivent être actuellement diminués de 3 %.

On remarquera, ainsi que nous l'avons dit plus haut, que, pour le coefficient 1 (limite supérieure de l'atmosphère), la quantité de calories reçue par une surface normale est constante au cours de la journée, qu'elle varie très peu au cours de l'année (distance de la terre au soleil), puisqu'elle passe de 2 (constante solaire pour une distance égale au demi-grand axe de l'orbite au 1er avril et au 1er octobre), à 2,07 (du 21 décembre au 11 février, époque du périgée) et à 1,93 (au 1er juillet, époque de l'apogée).

Pour un coefficient de transmission de 0,9, la courbe des calories reçues au cours d'une journée (1er janvier par exemple) monte très rapidement dans la première heure du jour, puis plus lentement pendant le reste de la demi-journée, pour redescendre symétriquement le soir. La surface qui sépare cette courbe du plafond, tracé à 2 calories, représente l'absorption de l'atmosphère pour ce coefficient de transmission.

Pour les autres coefficients, la courbe s'élève d'autant moins vite que

---

(1) C'est ainsi que les travaux de MM. Fabry et Buisson et de M. Cabannes ont montré que l'ozone, bien qu'existant en très faible proportion dans l'atmosphère, absorbe une partie importante des radiations ultra-violettes émises par le soleil, radiations qui détruiraient les êtres vivants si elles parvenaient à la surface de la terre.

(2) Dans ce tableau, 0 h. représente midi vrai; les résultats sont sensiblement symétriques pour les deux moitiés de la journée, ante et post-méridiem.

l'absorption de l'atmosphère est plus grande; il est à remarquer que le début du jour est marqué par une élévation d'abord très lente de la courbe; l'accroissement de la radiation reçue suit ensuite une marche presque régulière, la courbe étant peu convexe jusque vers 10 h. 30' et cet accroissement devient ensuite très lent entre 10 h. 30' et midi; la demi-courbe de l'après-midi est symétrique.

Ces courbes montrent quelle absorption considérable la radiation solaire subit de la part de l'atmosphère. Pour un coefficient de transmission de 0,6 à 0,8, valeurs qui correspondent à notre situation au voisinage de la mer, par ciel très pur, la quantité de radiation qui nous parvient est réduite de 40-60 % à midi, et bien davantage aux autres heures de la journée (1er janvier).

Cette marche de l'insolation suit les mêmes phases aux divers jours de l'année avec des différences quantitatives que nous examinerons dans un des paragraphes suivants.

2. — **Variation diurne de la radiation sur une surface horizontale.** — Nous avons dit plus haut que la radiation qui arrive sur une surface horizontale, réduite par l'absorption atmosphérique, dans les conditions que nous venons de voir, est proportionnelle, par unité de surface, à la valeur de *Cos Z*. Ce facteur varie de 1 à 0 comme nous l'avons indiqué; il en résulte que la quantité de chaleur reçue par une surface horizontale est très réduite par rapport à celle que reçoit la même surface placée normalement aux rayons.

La marche de la variation diurne de la radiation par cm² minute de surface horizontale est représentée par les nombres du tableau II.

Prenons encore pour exemple la journée du 1er janvier. Même en supposant l'absorption atmosphérique absente (coefficient de transmission 1), la quantité de radiation reçue varie; elle débute à 0 au lever du soleil et s'élève graduellement; cette courbe représente exactement celle des valeurs $\frac{Cos.\ Z}{R^2}$ (1) pour la journée considérée, puisque toute cause d'absorption est supposée exclue.

Dès qu'intervient l'absorption de l'atmosphère (coefficients 0,6 — 0,7, etc...), les courbes prennent une allure différente, caractérisée par une inflexion très lente au début du jour lorsque *Cos. Z* est petit et l'absorption atmosphérique très grande, puis une ascension régulière qui s'atténue aux approches de midi.

Pour cette journée du 1er janvier, époque à laquelle la distance zénithale du soleil reste importante même à midi, la quantité de radiation reçue sur une surface horizontale est beaucoup plus petite que celle que reçoit la même surface orientée normalement. On conçoit la grande influence, à cette époque de l'année, d'une pente du sol orientée vers le sud, et l'énorme différence de chaleur reçue par la cime globuleuse d'un arbre par exemple et la projection verticale de cette cime vers le sol.

---

(1) R = distance de la terre au soleil. — Cette distance varie assez peu; elle affecte faiblement la valeur de la constante solaire au cours de l'année. (Voir p. 77.)

Lorsqu'une plante étale ses feuilles en rosette à la surface du sol horizontal ou y laisse ramper ses tiges, elle reçoit beaucoup moins de radiation (lumière, chaleur) qu'une plante érigée, surtout pendant l'hiver. Une plante de région froide qui présente cette particularité voit donc ses fonctions d'assimilation réduites de ce fait, en concordance d'ailleurs avec l'arrêt de végétation déterminé par l'abaissement de la température du sol et de l'air. Les plantes des régions chaudes et arides présentent souvent aussi cette disposition, sans doute parce que le manque d'eau pendant la longue période sèche détermine les mêmes caractères de rabougrissement que ceux que provoque l'abaissement de température, accompagné souvent de la congélation de l'eau du sol, chez les plantes des régions froides.

La comparaison des courbes représentant la quantité de radiation reçue par unité de surface normale et par unité de surface horizontale montre combien il est important, au point de vue physiologique et climatologique, de mesurer ces deux quantités et de ne pas s'en tenir à la première, donnée par la plupart des actinomètres utilisés dans les stations météorologiques.

II. VARIATION ANNUELLE DE LA RADIATION

L'insolation varie en durée et en intensité, au cours de l'année, suivant les saisons.

Ces dernières sont déterminées par plusieurs causes :

la forme elliptique de l'orbite terrestre autour du soleil, qui occupe un des foyers, d'où variation de la distance qui sépare les deux astres;

l'inclinaison de l'axe de rotation diurne de la terre sur le plan de son orbite, qui fait que les jours sont égaux aux nuits lors des deux équinoxes (21 mars et 23 septembre), qu'ils croissent dans notre hémisphère du solstice d'hiver (21 décembre), où ils présentent leur plus petite durée, au solstice d'été (21 juin), où leur durée est maximum. Ces quatre dates divisent l'année en quatre saisons.

Les mêmes mouvements de la terre par rapport au soleil déterminent également l'inégalité de la durée des jours suivant la latitude des lieux.

La quantité de chaleur reçue par un point donné du globe varie donc au cours de l'année suivant la durée de la période d'insolation et la hauteur du soleil.

La durée des jours est facile à calculer pour chaque latitude avec les indications contenues dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes.

Il nous importe au point de vue climatologique de connaître les variations maximum de la quantité de radiation reçue, celles que subit la distribution journalière de la radiation au cours de l'année et surtout les quantités journalières de radiation parvenues au point considéré.

Ce que nous avons dit plus haut nous fait comprendre que ces données doivent être établies pour une surface normale au soleil et pour une surface horizontale.

1. — **Variation annuelle de la radiation reçue par une surface normale :**

a) *Variation du maximum pour les divers coefficients de transmission.* — On peut suivre sur le tableau I la variation annuelle de la quantité de radiation reçue, à midi, sur 1 cm² de surface normale et pour les divers coefficients de transmission de l'atmosphère. Pour la rendre plus apparente, nous avons établi avec ces chiffres le graphique 1 (courbes pleines).

La radiation totale, à la limite de l'atmosphère (coeff. 1,0), ne subit d'autre variation que celle qui résulte de la distance de la terre au soleil. Elle correspond à la constante solaire, 2 cal. gr., le 1er avril et le 1er octobre, dates auxquelles cette distance prend sa valeur moyenne; présente son minimum (1 cal. 93) le 1er juillet et son maximum (2,07) du 21 décembre au 11 janvier.

Sans l'absorption atmosphérique, le maximum de radiation reçu par une surface normale aurait lieu au 1er janvier et le minimum au 1er juillet; l'absorption atmosphérique modifie l'allure du phénomène, d'autant plus qu'elle est plus importante.

Pour le coefficient 0,9, le maximum se place au 21 mars, le minimum au 21 décembre et l'excentricité de l'orbite terrestre n'est plus marquée que par un plateau du 1er juin au 1er octobre avec un léger minimum secondaire le 11 juillet.

Pour le coefficient 0,8, l'excentricité de l'orbite détermine un maximum en plateau du 21 avril au 21 mai, sans minimum secondaire.

Pour le coefficient 0,7, le maximum se maintient du 11 mai au 11 juin et, pour le coefficient 0,6, il n'est obtenu que le 11 juin.

L'effet de l'absorption atmosphérique est donc de rendre de moins en moins apparent l'effet de l'excentricité de l'orbite terrestre, de donner à la courbe des maxima une forme de plus en plus convexe au lieu d'être concave, en déplaçant graduellement le maximum du 1er janvier vers le 1er juillet.

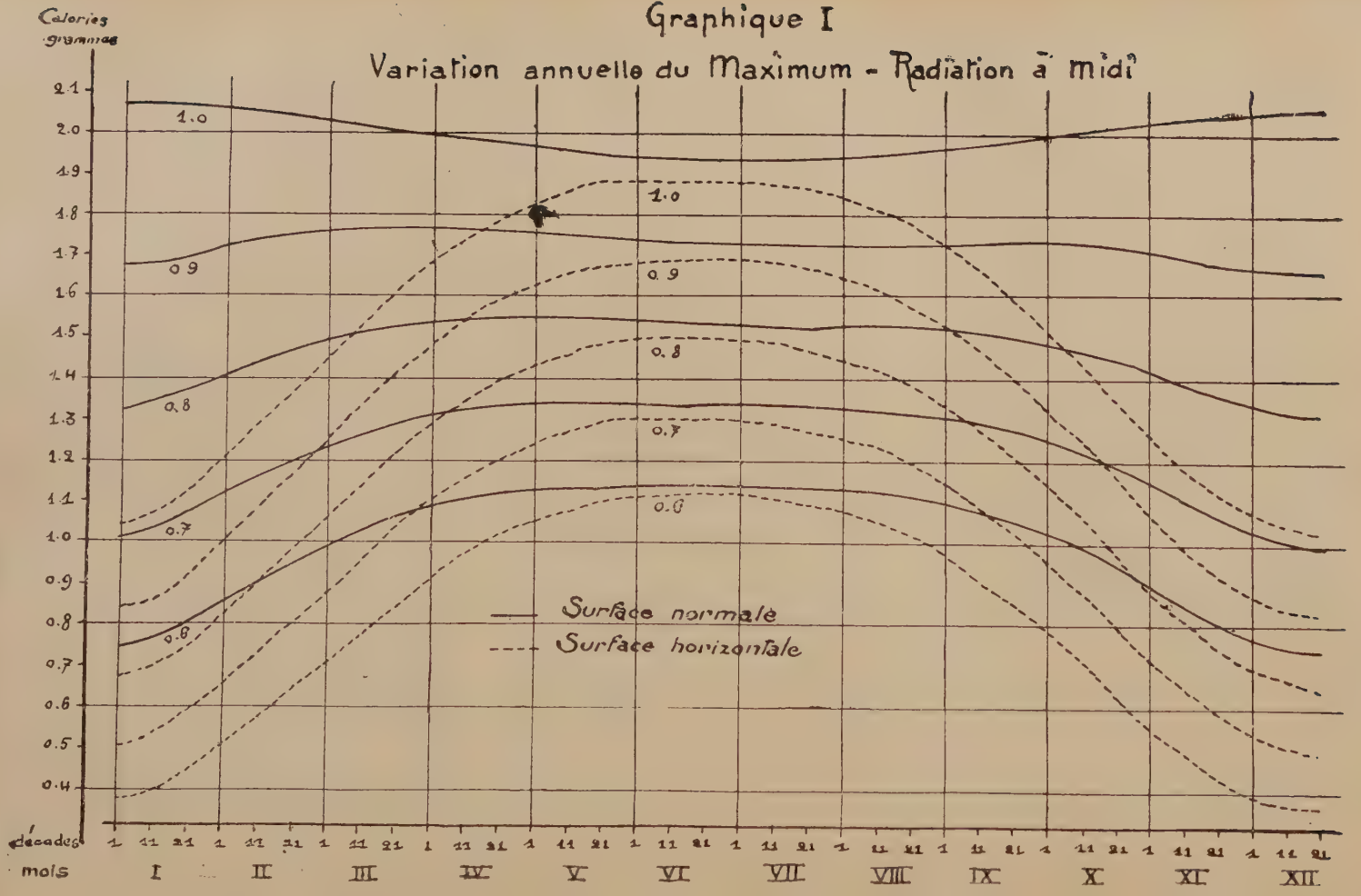
Notons que la variation annuelle du maximum est beaucoup moins importante que les personnes non informées ne sont portées à le croire. Elles jugent de la radiation par la température du lieu, alors que cette température subit l'influence d'autres facteurs que la variation de la quantité des radiations par unité de temps et unité de surface.

Cette constatation explique pourquoi, en plein hiver, sur de hautes montagnes, par ciel très clair, on jouit au milieu de la journée d'une quantité de radiation très grande, supérieure à celle que l'on reçoit en plaine sous la même latitude. Les cures d'héliothérapie d'hiver dans les stations d'altitude doivent leur efficacité à cette intensité de la radiation en même temps qu'à la composition de la lumière, dont l'étude ne rentre pas dans le cadre de la présente note.

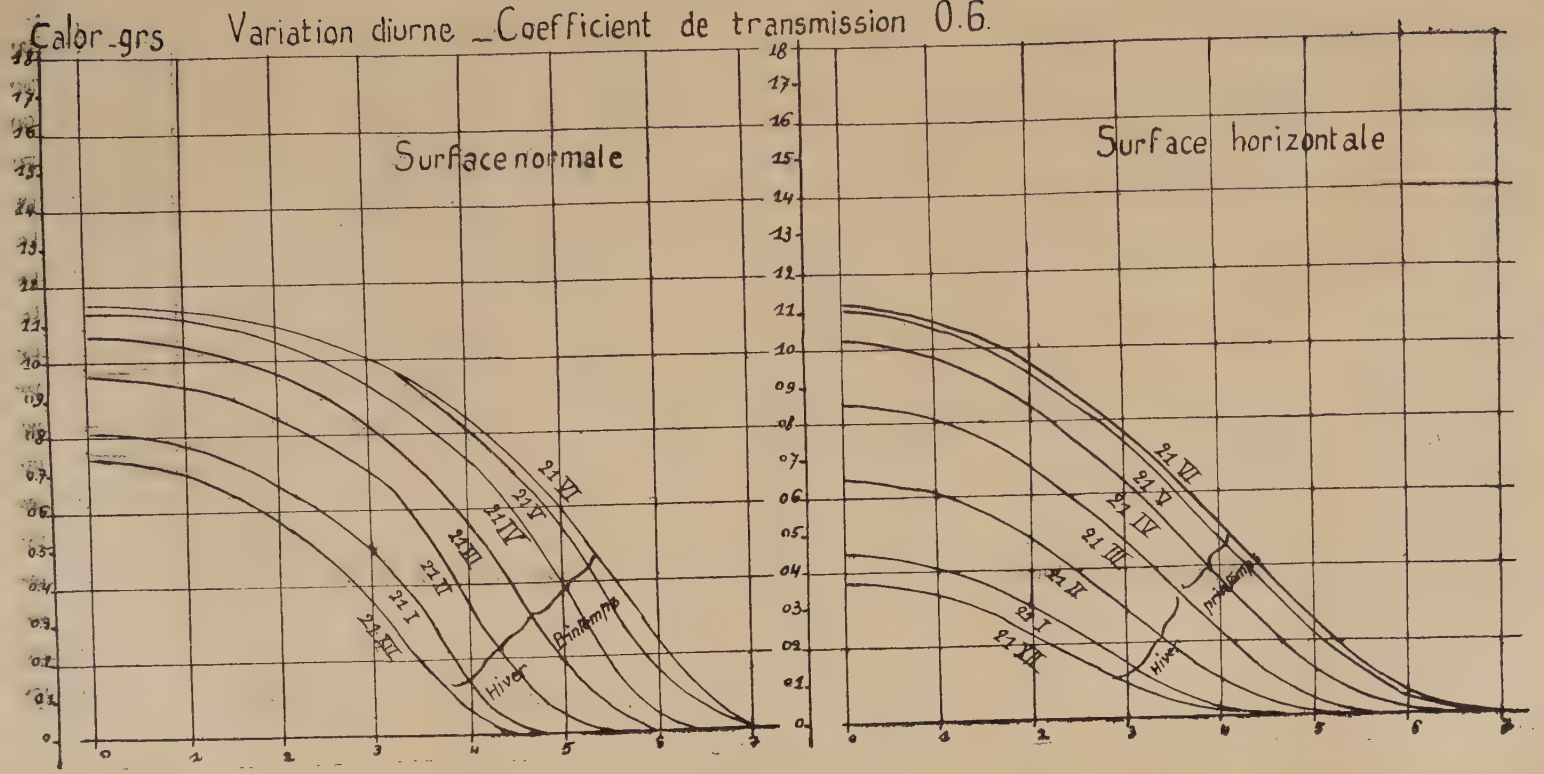
b) *Variation annuelle de la distribution journalière de la radiation sur une surface normale.* — La lecture du tableau I montre comment varie au cours de l'année la distribution de la quantité de radiation parvenue sur une surface normale.

Graphique I

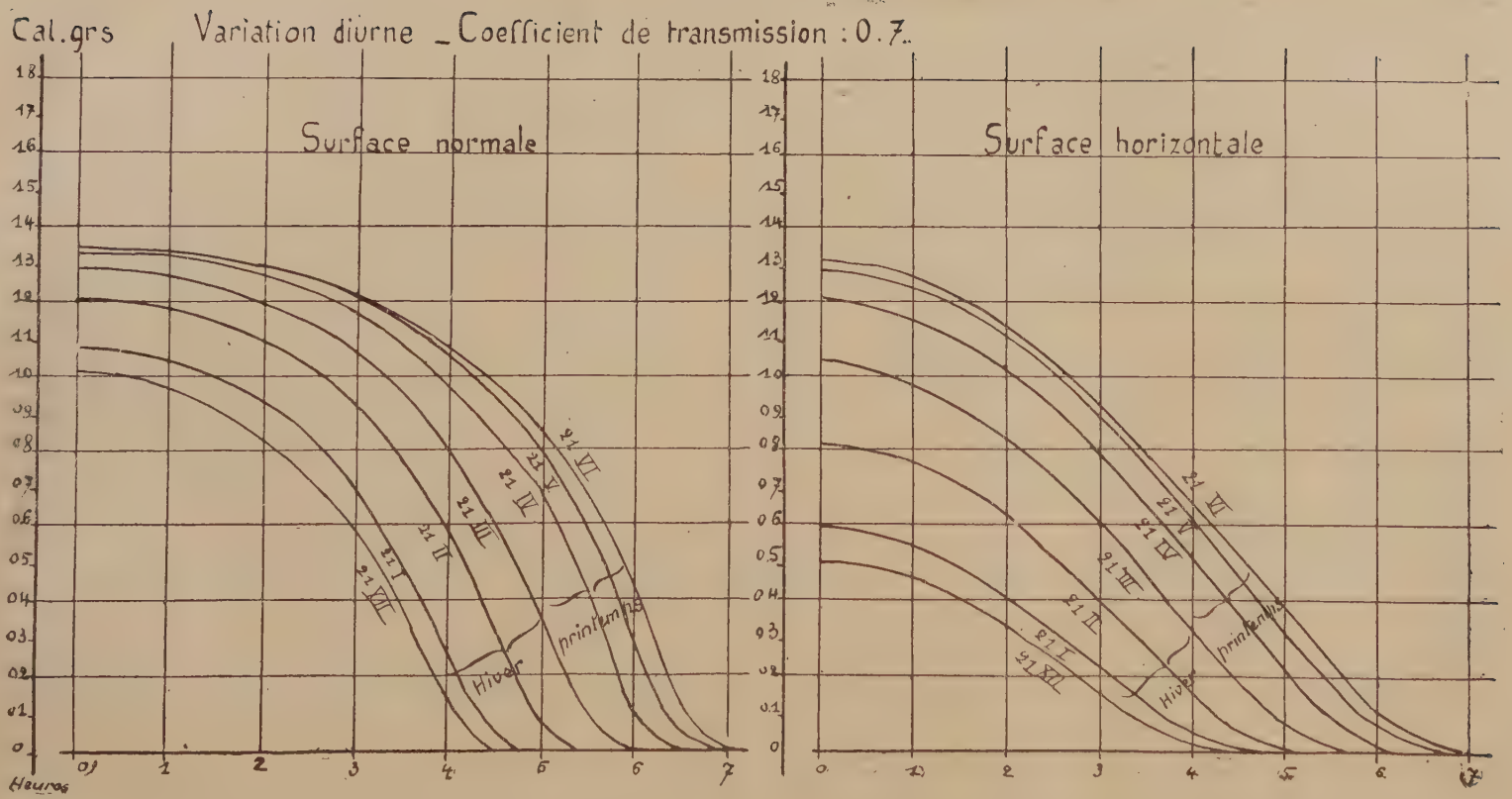
Variation annuelle du Maximum - Radiation à midi



Graphique II

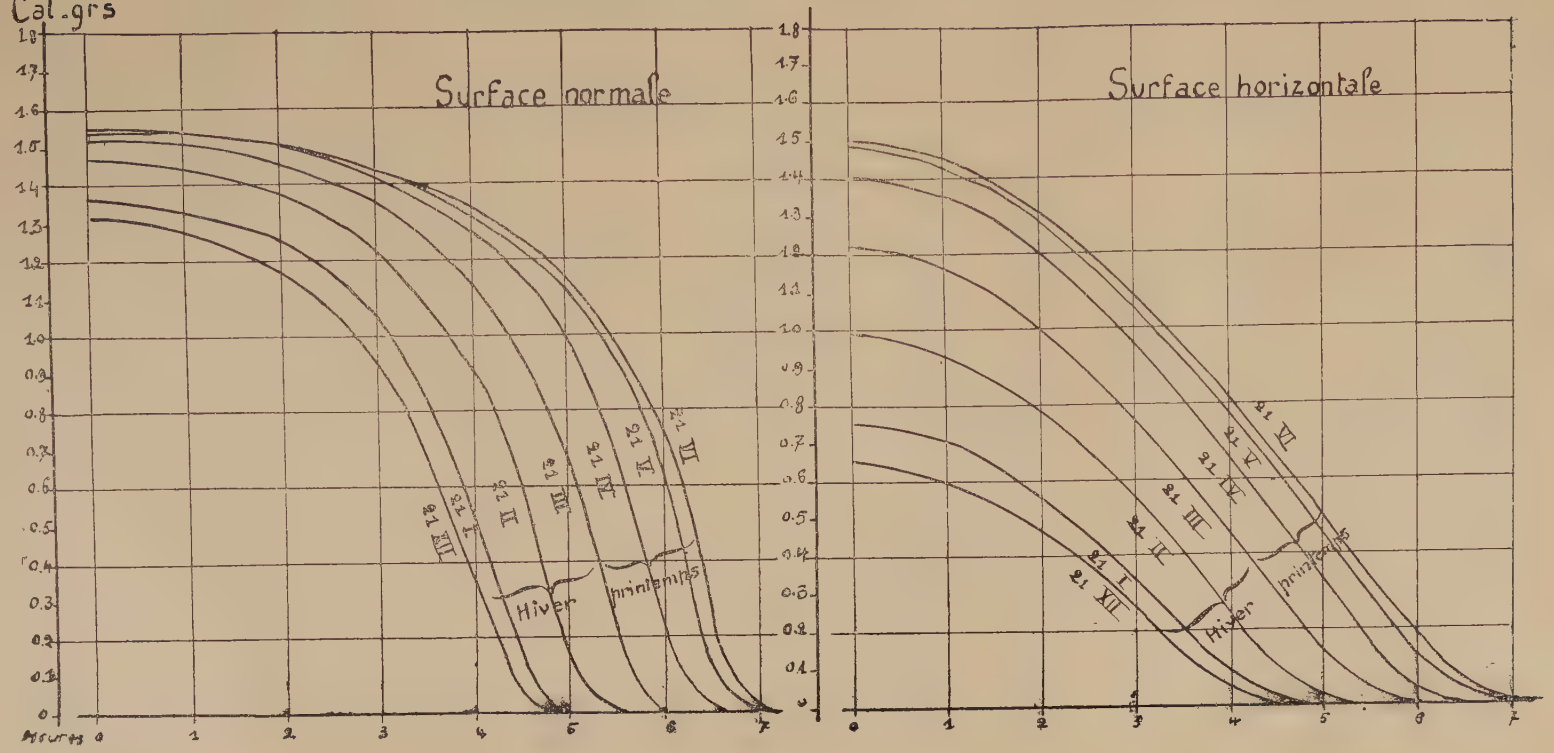


Graphique III



Graphique IV

Variation diurne _ Coefficient de transmission :0.8.



Pour faciliter cette comparaison, nous avons reporté sur les graphiques 2, 3 et 4 les courbes pour les coefficients 0,6 à 0,7 et 0,8 pour le vingt et unième jour des mois de décembre à juin, soit pour l'hiver et le printemps. Du 21 juin au 21 décembre, les courbes seraient à peu près les mêmes (comme l'indiquent les chiffres du tableau I) et se succéderaient de droite à gauche. Nous ne les avons pas représentées pour éviter de surcharger les graphiques.

Ces trois graphiques permettent les observations suivantes :

1° Plus le coefficient de transmission se rapproche de l'unité, plus les maxima journaliers sont élevés et moins ils varient au cours de l'année :

	cal.	cal.	
de 0,74 à 1,15	pour le coefficient 0,6,	écart 0,41,	écart % 43
de 1,01 à 1,34	— 0,7,	— 0,33,	— 28
de 1,32 à 1,55	— 0,8,	— 0,23,	— 16

Ils sont presque invariables du 21 avril au 21 août pour chacun des trois coefficients ci-dessus;

2° La variation annuelle de la radiation diurne ne suit pas une marche régulièrement ascendante du 21 décembre au 21 juin et régulièrement descendante du 21 juin au 21 décembre, car elle est influencée par la variation du maximum visée ci-dessus et par la durée de l'insolation. L'accroissement est très rapide du 21 janvier au 21 avril; de même que la décroissance correspondante du 21 août au 21 novembre. Entre le 21 avril et le 21 août et surtout entre le 21 mai et le 21 juillet, la variation est faible; il en est de même entre le 21 novembre et le 21 janvier.

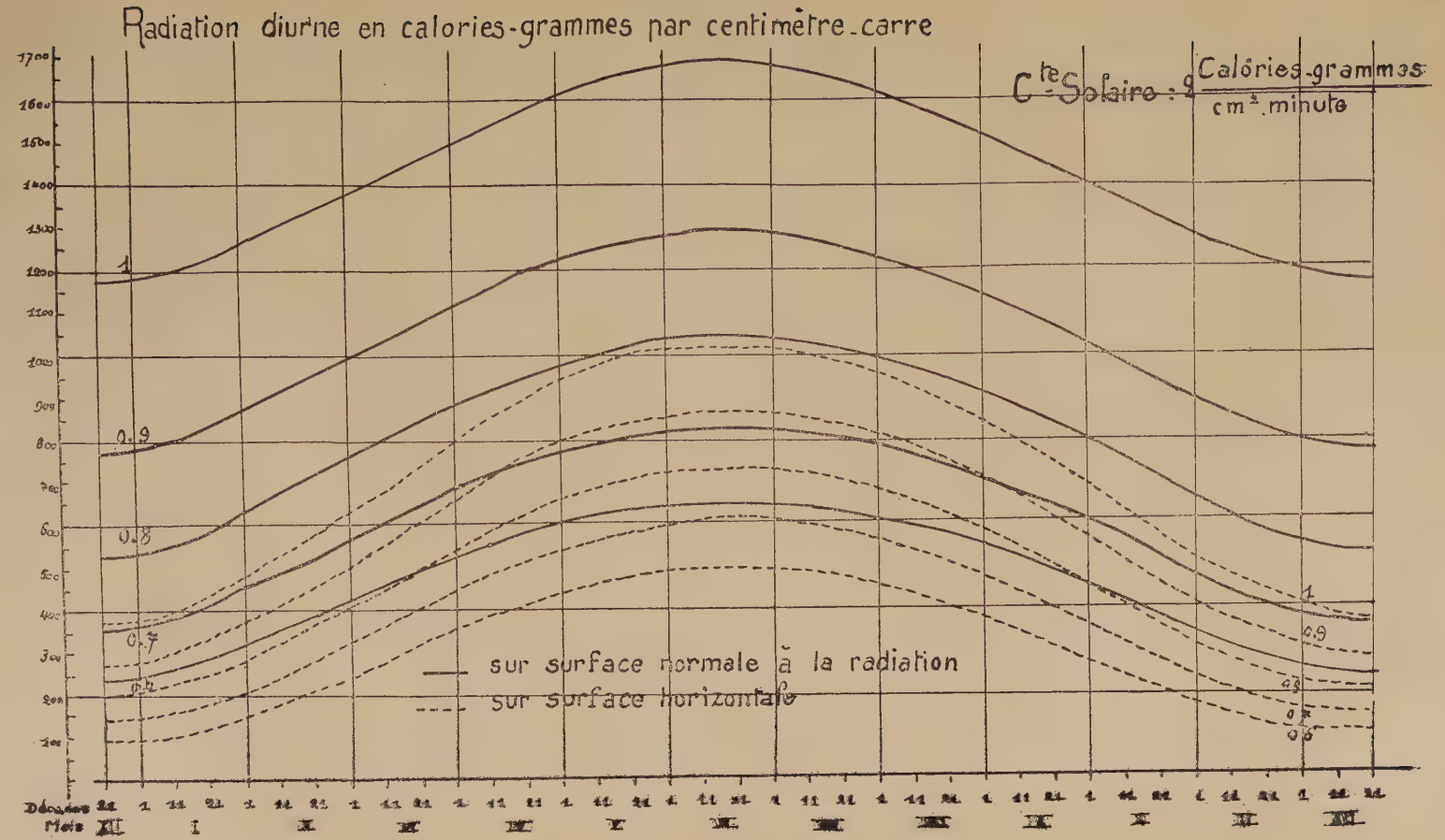
Nous retrouverons les mêmes constatations en examinant les chiffres et les courbes relatifs aux quantités diurnes de calories reçues. (Voir page 84);

3° Les courbes de la radiation normale sont très étalées, ce qui montre que la quantité de calories reçue par minute sur 1 cm² est très constante pendant plusieurs heures avant et après midi; la durée de cette forte insolation varie naturellement avec la durée du jour; l'ascension et la chute de la courbe sont d'autant plus brusques, le matin et le soir, que le ciel est plus pur.

Dans les régions désertiques, chaudes, où l'humidité de l'atmosphère est faible, il se produit un brusque accroissement de la radiation dès le lever du soleil et pendant les deux premières heures de la journée et une chute symétrique avant le coucher du soleil, tandis que, pendant tout le reste de la journée, l'intensité de la radiation reste à peu près stationnaire. Les régions d'altitude élevée offrent le même mode de distribution de la radiation lorsque l'atmosphère est pure.

Dans les régions humides, littoraliennes, à coefficient de transmission réduit (0,6), l'inflexion des courbes indique un accroissement et une décroissance beaucoup plus progressifs et lents de l'intensité de la radiation.

Graphique V


Radiation diurne en calories-grammes par centimètre carré
C^te Solaire : 2 Calories-grammes / cm². minute
1
0.9
0.8
0.7
0.6
sur surface normale à la radiation
sur surface horizontale
Décades
Mois
XII
I
X

c) *Variation annuelle de la quantité diurne de radiation reçue sur une surface normale.* — La quantité totale de radiation reçue chaque jour de l'année sur une surface normale, pour chacun des coefficients envisagés, a été aussi calculée pour chaque dixième jour de l'année; les résultats figurent au tableau III et leur variation annuelle se trouve représentée par les courbes pleines du graphique 5.

Ces courbes indiquent en quelque sorte la somme théorique de radiation reçue au cours de l'année à notre station. C'est cette quantité d'énergie rayonnante qui échauffe le sol et l'atmosphère, qui évapore l'eau, qui se trouve partiellement transformée en travail par les phénomènes thermo-dynamiques accompagnant les changements de pression des gaz et vapeurs et les mouvements des masses d'air, qui est utilisée dans les phénomènes endothermiques de synthèse organique par les plantes vertes, etc...

Pour faire le bilan de ce qui reste dans le sol, il faudrait connaître, en outre, les déperditions par réflexion et par rayonnement.

Le problème de l'échauffement et du refroidissement du sol est fort complexe et nous ne l'aborderons pas dans cette note. Quoi qu'il en soit, il paraît bien certain que le premier terme à fixer, celui dont l'importance est primordiale, est la quantité de radiation parvenant à la surface du sol.

Les chiffres du tableau III permettent les observations suivantes :

1° La marche annuelle de l'insolation peut être résumée comme suit, en admettant que l'augmentation (ou la diminution) est régulière pendant une décade, approximation suffisante pour l'objet de ce travail. La durée des saisons telle que nous la portons dans le tableau ci-après, pour utiliser les chiffres du tableau III, est peu différente de leur durée astronomique : hiver 89 jours, du 21 décembre au 25 mars — printemps 92 jours, du 21 mars au 21 juin — été 93 jours 15 h., du 21 juin au 23 septembre — automne 89 jours 19 h., du 23 septembre au 21 décembre.

Quantité de calories reçues par mois et par saison sur une surface normale

Coefficient de transmission :	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
21 décem. au 20 janvier (31 j.)	36.752	24.176	16.819	11.539	7.682
21 janvier au 20 février (31 j.)	39.142	26.949	19.571	14.043	9.897
21 février au 20 mars (28 j.)..	36.486	27.856	21.220	15.974	11.802
Hiver (90 jours)	114.380	78.981	57.610	41.556	29.381
21 mars au 20 avril (31 j.)....	46.347	34.640	27.272	20.540	16.236
21 avril au 20 mai (30 j.).....	47.960	36.470	29.170	23.851	18.000
21 mai au 20 juin (31 j.).....	51.794	39.569	31.819	25.339	19.873
Printemps (92 jours).....	146.101	110.679	88.261	69.740	54.109

Coefficient de transmission :	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
21 juin au 21 juillet (30 j.)....	50.370	38.500	30.970	24.680	19.370
21 juillet au 20 août (31 j.)....	50.138	38.834	30.670	24.367	19.035
21 août au 20 septembre (31 j.)	46.954	35.423	28.107	22.062	17.019
Eté (92 jours).....	147.462	112.767	89.747	71.109	55.424
21 septem. au 20 octobre (30 j.)	42.020	30.870	23.860	18.230	13.670
21 octo. au 20 novembre (31 j.)	39.843	27.939	20.644	15.064	10.755
21 nov. au 20 décembre (30 j.)	35.940	23.920	16.810	11.660	7.920
Automne (91 jours).....	117.803	82.729	61.314	44.954	32.345
Année (365 jours).....	525.746	385.156	296.932	227.359	171.259

L'influence considérable de l'absorption atmosphérique apparaît encore plus nettement que dans les courbes des graphiques diurnes. En prenant pour unité la quantité de radiation parvenue à la limite de l'atmosphère, les proportions arrivant au sol aux différentes saisons, pour les divers coefficients de transmission, sont les suivantes :

Coefficients de transmission.....	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Saisons : Hiver.....	1	0,69	0,50	0,36	0,26
Printemps	1	0,76	0,60	0,48	0,37
Été.....	1	0,76	0,61	0,48	0,38
Automne.....	1	0,70	0,52	0,38	0,27
Année entière.....	1	0,73	0,56	0,43	0,32

Pour un même coefficient de transmission, l'absorption atmosphérique est plus grande pendant l'hiver et l'automne que pendant le printemps et l'été, et cette différence s'accentue à mesure que le coefficient diminue.

En prenant pour unité la quantité de calories reçues par le sol pendant la demi-année estivale (printemps-été), la valeur relative de la radiation reçue pendant la demi-année hivernale (automne-hiver) pour les différents coefficients est représentée par les chiffres suivants :

Coefficients de transmission.....	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Période estivale (printemps-été).	1	1	1	1	1
Période hivernale (automne-hiver)	0,79	0,72	0,67	0,61	0,56

Dans les zones tempérées correspondant à notre latitude, où le coefficient se trouve le plus fréquemment compris entre 0,6 et 0,8, c'est donc une proportion du tiers à la moitié de la radiation qui parvient au sol,

sur une surface normale aux rayons, lorsqu'il n'y a pas de nuages. Cette absorption contribue à augmenter l'écart qui existe entre les deux moitiés (estivale et hivernale) de l'année, bien que l'aplatissement des courbes pour les faibles coefficients atténue un peu cet écart;

2° L'allure des courbes pleines du graphique montre que l'accroissement et la décroissance de la quantité diurne de calories sont lents en novembre-décembre-janvier et en mai-juin-juillet, surtout pour les faibles coefficients de transmission, tandis qu'ils sont plus rapides et presque réguliers pendant les périodes février-mars-avril et août-septembre-octobre. C'est l'observation que nous avons déjà tirée de la comparaison des courbes diurnes.

2. — Variation annuelle de la radiation reçue par une surface horizontale :

a) *Variation du maximum pour les différents coefficients de transmission.* — La quantité de radiation reçue à midi (voir tableau II) sur une surface horizontale et pour les différents coefficients de transmission est figurée par les courbes pointillées du graphique n° 1, qui sont à rapprocher des courbes pleines du même graphique établies pour la surface normale.

Même pour le coefficient 1,0 (absorption atmosphérique nulle), la courbe présente un minimum 1,02 au 21 décembre et un maximum en plateau qui dure du 21 mai au 1er juillet; c'est en somme la courbe des valeurs que prend $\frac{Cos.\ Z}{R^2}$ à midi pour les différents jours de l'année. Nous avons déjà dit que les valeurs de R^2 (r = distance de la terre au soleil) varient peu au cours de l'année; c'est cependant à sa diminution au milieu de l'année qu'il faut attribuer en partie l'aplatissement de la courbe à son sommet.

Cet effet s'atténue pour les coefficients de transmission plus faibles; le maximum s'étend du 11 juin au 1er juillet pour le coefficient 0,9, du 11 au 21 juin pour 0,8; il est limité au 21 juin pour 0,7, et il s'étend à nouveau du 11 juin au 1er juillet pour 0,6. Dans ce dernier cas, l'absorption atmosphérique est suffisante pour ne laisser apparaître ni les variations de R^2 ni celles, alors très faibles, de *Cos. Z.*

L'amplitude des variations du maximum est ici beaucoup plus importante que celles que nous avons indiquées pour une surface normale.

b) *Variation annuelle de la distribution journalière de la radiation sur une surface horizontale.* — On peut s'en rendre compte par les chiffres du tableau II.

De même que nous l'avons fait pour la surface normale, nous avons rapproché sur les graphiques 2, 3 et 4 les courbes se rapportant au vingt et unième jour de chaque mois du 31 décembre au 21 juin pour les coefficients 0,6 — 0,7 et 0,8.

Ces courbes ont une allure toute différente de celles qui représentent la radiation par unité de surface normale aux rayons. Elles ne présentent

plus, ainsi que nous l'avons dit en étudiant la variation diurne, une ascension brusque et rapide peu après le lever du soleil et un maximum qui se maintient pendant longtemps au milieu de la journée, mais une ascension presque régulière et un maximum nettement marqué à midi; cette ascension est d'autant plus rapide et le maximum d'autant mieux marqué que l'absorption atmosphérique est moindre et qu'on se rapproche davantage du 21 juin. Il en résulte que la radiation solaire qui frappe l'unité de surface du sol varie dans de beaucoup plus larges limites que celle que reçoit l'unité de surface normale aux rayons. La marche de l'échauffement et du refroidissement du sol s'en trouve affectée dans une mesure plus grande que les phénomènes dépendant de la radiation dont sont le siège les organismes érigés à la surface du sol.

Ainsi que nous l'avons vu au paragraphe précédent, le maximum varie beaucoup au cours de l'année, quel que soit le coefficient envisagé, et l'écart en valeur absolue s'atténue (au lieu de s'accroître) à mesure que diminue le coefficient de transparence.

Les courbes du 21 mai au 21 juin et du 21 juin au 21 août restent distinctes sur toute leur longueur au lieu de se confondre dans leur région de valeur maximum, comme nous l'avons constaté pour les courbes se rapportant à la surface normale.

Les variations du maximum sont dans ce cas :

cal.	cal.					
0,38 à	1,11	pour le coefficient de	0,6,	écart	0,73,	écart % 98
0,51 à	1,31	—	0,7,	—	0,80,	— 88
0,67 à	1,50	—	0,8,	—	0,83,	— 76

et c'est seulement du 21 mai au 21 juillet que la variation est très faible.

La variation annuelle de la radiation diurne est de ce fait différente de celle que nous avons notée pour la radiation reçue sur une surface normale; la marche générale de l'accroissement et de la décroissance au cours des saisons reste la même dans ses grandes lignes, mais les variations sont beaucoup plus considérables pour ce qui concerne le milieu de la journée que pour le début et la fin du jour, alors que c'est l'inverse que l'on observe pour la surface normale.

Pour cette dernière, le principal facteur de variation de la quantité diurne de radiation est l'inégalité des jours; pour une surface horizontale, il s'ajoute un autre facteur, les valeurs de *Cos.* Z, dont les effets sont surtout importants dans la partie moyenne de la journée.

Les mêmes constatations se retrouveront lorsque nous examinerons les chiffres et les courbes relatifs aux quantités diurnes de calories reçues par le sol horizontal.

c) *Variation annuelle de la quantité diurne de radiation reçue sur une surface horizontale.* — Le tableau III indique pour chaque dixième jour de l'année les quantités diurnes de radiations parvenant au sol horizontal par centimètre carré. Ces chiffres ont permis de tracer les courbes pointillées du graphique 5.

Leur examen entraîne les constatations suivantes :

1° La marche de l'insolation peut être résumée par mois et saison, comme nous l'avons fait pour la radiation reçue par une surface normale, dans le tableau suivant, donnant le nombre de calories reçues par centimètre carré minute :

Quantité de calories reçues par mois et par saison sur une surface horizontale

Coefficient de transmission :	1,0	0,9	0,6	0,7	0,5
21 décem. au 20 janvier (31 j.)	12.055	9.007	6.621	4.751	3.284
21 janvier au 20 février (31 j.)	14.899	11.562	8.854	6.633	4.814
21 février au 20 mars (28 j.)..	17.566	14.316	11.450	9.994	7.350
Hiver (90 jours)	44.520	34.885	26.925	21.378	15.448
21 mars au 20 avril (31 j.)....	24.710	20.608	16.991	13.777	10.904
21 avril au 20 mai (30 j.).....	27.890	23.600	19.750	16.300	13.150
21 mai au 20 juin (31 j.).....	31.096	26.477	22.281	18.499	15.037
Printemps (92 jours).....	83.696	70.685	59.022	48 576	39.091
21 juin au 21 juillet (30 j.)....	30.370	25.870	21.780	18.100	14.720
21 juillet au 20 août (31 j.)....	29.648	25.173	21.133	17.485	14.168
21 août au 20 septembre (31 j.)	26.091	21.907	18.187	14.859	11.873
Eté (92 jours).....	86.109	72.950	61.100	50.444	40.761
21 septem. au 20 octobre (30 j.)	20.570	16.870	13.670	10.859	8.450
21 octo. au 20 novembre (31 j.)	16.168	12.758	9.917	7.583	5.588
21 nov. au 20 décembre (30 j.)	12.220	9.210	6.840	4.960	3.480
Automne (91 jours).....	48.958	38.838	30.427	23.433	17.518
Année (365 jours).....	263.283	217.358	177.474	143.831	112.818

En prenant pour unité la quantité de calories reçues en faisant abstraction de l'absorption atmosphérique (coefficient 1,0), les proportions arrivant au sol aux diverses saisons et pour les différents coefficients de transmission sont les suivantes :

Coefficients de transmission.....	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Saisons : Hiver	1	0,78	0,60	0,48	0,35
Printemps.....	1	0,84	0,71	0,58	0,47
Été	1	0,85	0,72	0,59	0,47
Automne.....	1	0,79	0,60	0,48	0,36
Année entière.....	1	0,82	0,67	0,55	0,43

Considérée dans ses grandes lignes, l'influence de l'atmosphère est la même que pour la radiation tombant sur une surface normale; pour un même coefficient de transmission, l'absorption atmosphérique est plus grande pendant l'hiver et l'automne que pendant le printemps et l'été, et cette différence s'accentue à mesure que le coefficient de transmission diminue de valeur.

Si nous prenons pour unité la quantité de calories reçues par le sol pendant la demi-année estivale (printemps-été), la valeur relative de la radiation reçue pendant la moitié hivernale (automne-hiver), pour les différents coefficients, est représentée par les chiffres suivants :

Coefficients de transmission	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Période estivale (printemps-été)	1	1	1	1	1
Période hivernale (automne-hiver)	0,55	0,51	0,48	0,45	0,41

En comparant les chiffres des deux tableaux ci-dessus à ceux qui donnent les mêmes rapports pour la radiation tombant sur une surface normale, on constate que l'influence de l'absorption atmosphérique est moins grande dans le cas de la surface horizontale lorsque l'on envisage l'influence du coefficient de transmission pendant une même saison ou lorsque l'on compare l'insolation pendant la période hivernale à l'insolation de la période estivale.

Le graphique 5 fait pressentir cette conclusion, car les courbes pointillées sont beaucoup plus rapprochées les unes des autres que les courbes pleines;

2° Ces courbes pointillées montrent une période d'accroissement et de décroissance lents de la quantité diurne de radiation pendant les mois de novembre, décembre et janvier, plus accusée que pour les courbes de la radiation normale; de même, l'augmentation et la diminution régulières de la quantité de radiation sont plus rapides mais durent moins longtemps que pour la radiation normale, et le maximum est moins accusé.

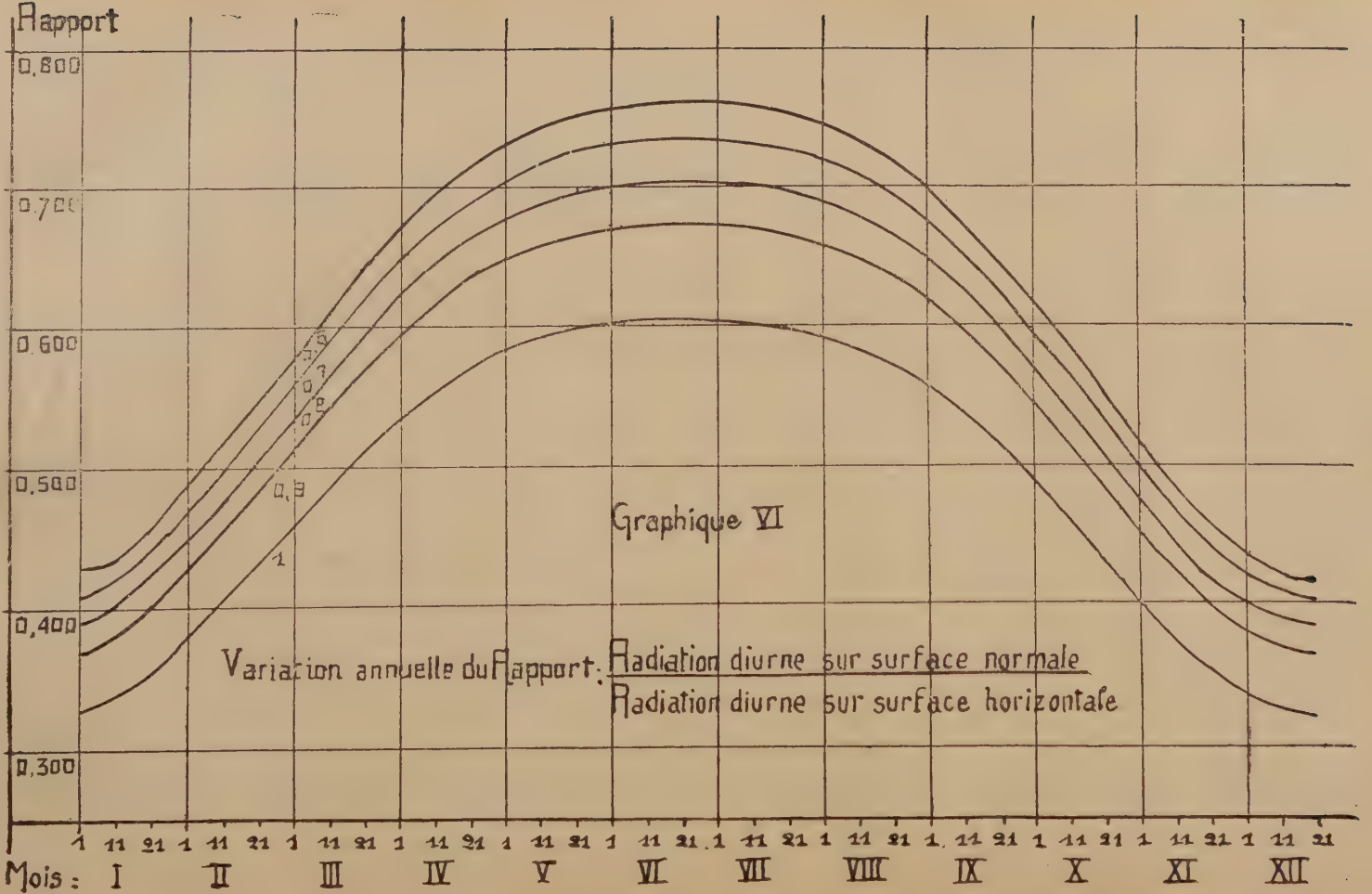
d) *Variation annuelle du rapport* :

$$\frac{Rh}{Rn} = \frac{\text{radiation diurne reçue sur une surface horizontale}}{\text{radiation diurne reçue sur une surface normale}}$$

Nous venons de voir que les quantités diurnes de radiation tombant sur une surface normale et sur une surface horizontale ne sont pas affectées dans la même mesure par l'absorption atmosphérique. Le rapport entre ces quantités doit donc varier, annuellement, de manières différentes pour les différents coefficients d'absorption.

Le tableau 4 donne les valeurs de ce rapport pour chaque dixième jour de l'année, et pour les coefficients 0,6 — 0,7 — 0,8 — 0,9 — et 1, et le graphique VI traduit les variations de ces valeurs numériques.

Dès que l'absorption atmosphérique intervient, même pour le coefficient 0,9, le rapport $\frac{Rh}{Rn}$ prend une valeur plus grande; cette valeur s'ac-



Graphique VI

Variation annuelle du Rapport : Radiation diurne sur surface normale / Radiation diurne sur surface horizontale

croît à mesure que le coefficient de transmission devient plus petit. Il est remarquable qu'il existe un gros écart entre les courbes correspondant aux coefficients 1 et 0,9, et un écart plus faible entre les courbes des autres coefficients.

Ces écarts présentent leurs valeurs minima en février et novembre, leurs valeurs maxima en juin et décembre, le premier de ces maximum étant plus accusé que le second.

Il résulte de ces observations que le rapport entre l'insolation du sol horizontal et la radiation normale s'accroît à mesure que l'absorption atmosphérique est plus intense, que cette influence est surtout marquée en mai-juin-juillet-août et (à un moindre degré) en décembre-janvier. Il en résulte que, dans les régions à forte absorption atmosphérique (littoral), il y a moins de différence entre la quantité de radiation qui frappe le sol et celle que reçoivent les objets érigés, que dans les contrées à air sec et pur (régions désertiques). Il est probable que ces circonstances sont favorables à la végétation.

*
* *

En résumé, l'influence de l'excentricité de l'orbite terrestre, de la hauteur du soleil et de l'absorption atmosphérique se manifeste comme suit selon que la radiation est reçue sur une surface normale aux rayons ou sur une surface horizontale :

Surface normale	*Surface horizontale*
Accroissement et décroissance rapides le matin et le soir, faible variation pendant la majeure partie de la journée.	Accroissement et décroissance lents au cours de la journée et maximum à midi vrai.
Maximum diurne peu variable au cours de la journée, presque constant d'avril à août, plus fortement influencé par le coefficient de transmission pendant la demi-année hivernale que pendant la demi année estivale; influence visible de l'excentricité de l'orbite terrestre.	Maximum diurne variable au cours de l'année; influence du coefficient de transmission plus marquée pendant la période estivale que pendant la période hivernale; influence de l'excentricité de l'orbite terrestre très peu apparente.
La quantité diurne de radiation varie annuellement, surtout avec la durée du jour; la variation est peu importante pour le milieu de la journée; elle est lente aux époques avoisinant les solstices, rapide et régulière entre ces deux époques. L'absorption atmosphérique allonge les périodes d'accroissement et de décroissance lents.	La quantité diurne de radiation varie annuellement en fonction de la durée des jours et de la hauteur du soleil; la variation est très importante au milieu de la journée; les périodes de variation lente aux époques des solstices sont allongées; l'augmentation pendant les périodes intermédiaires est plus rapide que dans le cas de la surface normale. L'absorption atmosphérique atténue la vitesse d'accroissement et de décroissance de la quantité diurne de radiation.

Surface normale

L'absorption atmosphérique est beaucoup plus importante pendant la demi-année hivernale que pendant la demi-année estivale; la différence s'atténue quand l'absorption atmosphérique augmente.

Surface horizontale

L'influence de l'absorption atmosphérique s'exerce de la même manière, mais elle est relativement moins marquée que pour la surface normale.

Ces différences montrent qu'il est indispensable de mesurer la radiation reçue sur une surface normale et sur une surface horizontale, celle-ci ne pouvant être déduite de celle-là que si l'on connaît à la fois la hauteur du soleil et le coefficient de transmission de l'atmosphère. Il apparaît très utile de déterminer la valeur, au moins approximative, de ce coefficient.

Sous notre latitude, au point de vue de la radiation solaire, on peut diviser l'année comme suit :

Décembre-janvier : insolation faible peu variable;
Février-mars-avril : accroissement rapide de l'insolation;
Mai-juin-juillet-août : insolation forte, peu variable;
Septembre-octobre-novembre : décroissance rapide de l'insolation.

TABLEAU I

INTENSITÉ DE LA RADIATION SOLAIRE

tombant sur une surface normale aux rayons, à l'Ariana, au cours du jour et au cours de l'année

Grammes-calories par cm^2 et minute

Constante solaire : $\frac{2 \text{ gr.-calories}}{cm^2 \times \text{minute}}$

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er janvier	0 h.	0,75	1,02	1,33	1,68	
	1	0,71	0,98	1,29	1,66	
	2	0,58	0,85	1,19	1,59	2,07
	3	0,35	0,60	0,95	1,43	
	4	0,05	0,14	0,38	0,95	
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 janvier	0 h.	0,77	1,04	1,35	1,69	
	1	0,73	1,00	1,31	1,67	
	2	0,61	0,88	1,22	1,61	2,07
	3	0,38	0,63	0,99	1,45	
	4	0,07	0,18	0,46	1,01	
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	
	8	—	—	—	—	
21 janvier	0 h.	0,81	1,08	1,37	1,70	
	1	0,77	1,04	1,34	1,69	
	2	0,66	0,93	1,26	1,63	2,06
	3	0,43	0,70	1,05	1,49	
	4	0,11	0,25	0,53	1,12	
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er février	0 h.	0,86	1,12	1,41	1,72	
	1	0,83	1,09	1,38	1,71	
	2	0,72	0,98	1,30	1,66	2,06
	3	0,50	0,77	1,11	1,53	
	4	0,16	0,34	0,68	1,24	
	5	0,00	0,01	0,02	0,03	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 février	0 h.	0,91	1,16	1,44	1,74	
	1	0,88	1,14	1,42	1,73	
	2	0,78	1,05	1,34	1,68	2,05
	3	0,58	0,85	1,17	1,58	
	4	0,24	0,45	0,83	1,33	
	5	0,01	0,03	0,07	0,23	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 février	0 h.	0,96	1,21	1,47	1,75	
	1	0,93	1,18	1,45	1,74	
	2	0,84	1,10	1,38	1,70	2,04
	3	0,65	0,93	1,24	1,61	
	4	0,32	0,58	0,94	1,41	
	5	0,03	0,07	0,16	0,48	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er mars	0 h.	0,99	1,23	1,49	1,76	
	1	0,97	1,21	1,47	1,75	
	2	0,88	1,13	1,41	1,71	2,04
	3	0,71	0,97	1,28	1,64	
	4	0,40	0,66	1,02	1,47	
	5	0,06	0,13	0,30	0,72	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 mars	0 h.	1,03	1,27	1,51	1,76	
	1	1,01	1,24	1,49	1,76	
	2	0,92	1,17	1,44	1,72	2,03
	3	0,77	1,02	1,32	1,66	
	4	0,48	0,75	1,09	1,52	
	5	0,10	0,22	0,47	0,97	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	
21 mars	0 h.	1,06	1,29	1,52	1,77	
	1	1,04	1,27	1,51	1,76	
	2	0,96	1,20	1,46	1,73	2,01
	3	0,82	1,07	1,36	1,67	
	4	0,56	0,83	1,15	1,55	
	5	0,17	0,36	0,69	1,21	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er avril	0 h.	1,09	1,31	1,54	1,77	
	1	1,07	1,29	1,52	1,76	
	2	1,00	1,23	1,48	1,74	
	3	0,87	1,12	1,39	1,69	2,00
	4	0,64	0,91	1,22	1,38	
	5	0,25	0,49	0,85	1,33	
	6	0,00	0,01	0,02	0,08	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 avril	0 h.	1,11	1,32	1,54	1,76	
	1	1,09	1,31	1,53	1,76	
	2	1,03	1,25	1,49	1,74	
	3	0,91	1,15	1,41	1,69	1,99
	4	0,69	0,94	1,25	1,60	
	5	0,34	0,60	0,95	1,41	
	6	0,01	0,02	0,05	0,13	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 avril	0 h.	1,12	1,33	1,55	1,76	
	1	1,11	1,32	1,54	1,75	
	2	1,05	1,27	1,50	1,74	
	3	0,93	1,17	1,42	1,70	1,98
	4	0,73	0,98	1,28	1,62	
	5	0,41	0,68	1,01	1,44	
	6	0,04	0,08	0,23	0,55	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er mai	0 h.	1,13	1,34	1,55	1,76	
	1	1,12	1,33	1,54	1,75	
	2	1,06	1,28	1,50	1,74	
	3	0,95	1,18	1,43	1,70	1,97
	4	0,77	1,02	1,31	1,62	
	5	0,38	0,75	1,06	1,46	
	6	0,06	0,12	0,33	0,75	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 mai	0 h.	1,14	1,34	1,55	1,75	
	1	1,13	1,33	1,54	1,75	
	2	1,07	1,29	1,51	1,73	
	3	0,97	1,19	1,44	1,69	1,96
	4	0,79	1,04	1,32	1,62	
	5	0,52	0,79	1,09	1,49	
	6	0,10	0,25	0,50	0,93	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 mai	0 h.	1,14	1,34	1,55	1,75	
	1	1,13	1,33	1,54	1,75	
	2	1,08	1,29	1,51	1,73	
	3	0,98	1,20	1,44	1,69	1,95
	4	0,81	1,05	1,33	1,62	
	5	0,55	0,82	1,12	1,50	
	6	0,15	0,30	0,64	1,18	
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	
	8	—	—	—	—	—
1er juin	0 h.	1,14	1,34	1,54	1,74	
	1	1,13	1,33	1,53	1,74	
	2	1,08	1,29	1,51	1,72	
	3	0,98	1,21	1,45	1,69	1,94
	4	0,83	1,06	1,34	1,65	
	5	0,58	0,84	1,14	1,51	
	6	0,20	0,40	0,73	1,22	
	7	0,00	0,00	0,01	0,02	
	8	—	—	—	—	—
11 juin	0 h.	1,15	1,34	1,54	1,74	
	1	1,13	1,33	1,53	1,74	
	2	1,08	1,29	1,50	1,72	
	3	0,98	1,21	1,44	1,69	1,94
	4	0,83	1,07	1,34	1,65	
	5	0,59	0,85	1,15	1,51	
	6	0,22	0,42	0,75	1,24	
	7	0,00	0,01	0,01	0,03	
	8	—	—	—	—	—
21 juin	0 h.	1,14	1,34	1,54	1,74	
	1	1,13	1,33	1,53	1,73	
	2	1,08	1,29	1,50	1,72	
	3	0,98	1,21	1,44	1,69	1,94
	4	0,83	1,07	1,34	1,65	
	5	0,59	0,85	1,16	1,51	
	6	0,23	0,43	0,7 6	1,25	
	7	0,00	0,01	0,01	0,03	
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er juillet	0 h.	1,14	1,34	1,54	1,74	
	1	1,13	1,33	1,53	1,73	
	2	1,08	1,29	1,50	1,72	
	3	0,98	1,21	1,44	1,69	1,93
	4	0,83	1,07	1,34	1,67	
	5	0,58	0,85	1,15	1,51	
	6	0,22	0,42	0,75	1,24	
	7	0,00	0,01	0,01	0,03	
	8	—	—	—	—	—
11 juillet	0 h.	1,14	1,34	1,53	1,73	
	1	1,13	1,32	1,53	1,73	
	2	1,08	1,28	1,50	1,72	
	3	0,98	1,20	1,43	1,68	1,94
	4	0,82	1,06	1,33	1,62	
	5	0,57	0,83	1,14	1,50	
	6	0,20	0,40	0,72	1,22	
	7	0,00	0,00	0,01	0,02	
	8	—	—	—	—	—
21 juillet	0 h.	1,14	1,33	1,53	1,73	
	1	1,12	1,32	1,53	1,73	
	2	1,07	1,28	1,50	1,72	
	3	0,97	1,20	1,43	1,38	1,94
	4	0,81	1,05	1,32	1,62	
	5	0,56	0,81	1,11	1,49	
	6	0,16	0,32	0,64	1,17	
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	
	8	—	—	—	—	—
1er août	0 h.	1,13	1,33	1,53	1,74	
	1	1,12	1,32	1,52	1,73	
	2	1,06	1,27	1,49	1,71	
	3	0,96	1,19	1,42	1,68	1,94
	4	0,78	1,03	1,31	1,61	
	5	0,52	0,78	1,09	1,48	
	6	0,10	0,24	0,49	0,94	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 août	0 h.	1,12	1,33	1,53	1,74	
	1	1,11	1,31	1,52	1,73	
	2	1,05	1,26	1,49	1,71	
	3	0,94	1,17	1,42	1,68	1,95
	4	0,76	1,02	1,30	1,60	
	5	0,48	0,74	1,07	1,46	
	6	0,07	0,13	0,32	0,75	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 août	0 h.	1,11	1,32	1,53	1,74	
	1	1,09	1,31	1,52	1,73	
	2	1,03	1,25	1,48	1,71	
	3	0,92	1,16	1,41	1,68	1,96
	4	0,73	0,98	1,28	1,59	
	5	0,42	0,68	1,00	1,42	
	6	0,04	0,08	0,21	0,60	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er sept.	0 h.	1,10	1,31	1,52	1,74	1,96
	1	1,08	1,30	1,51	1,73	
	2	1,01	1,24	1,47	1,71	
	3	0,89	1,13	1,39	1,67	
	4	0,69	0,94	1,24	1,58	
	5	0,34	0,58	0,92	1,39	
	6	0,06	0,02	0,04	0,09	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 sept.	0 h.	1,08	1,29	1,52	1,74	1,97
	1	1,06	1,28	1,50	1,73	
	2	0,99	1,22	1,46	1,71	
	3	0,86	1,00	1,37	1,66	
	4	0,63	0,89	1,20	1,56	
	5	0,26	0,51	0,83	1,33	
	6	0,01	0,01	0,02	0,05	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 sept.	0 h.	1,05	1,28	1,50	1,74	1,99
	1	1,03	1,26	1,49	1,73	
	2	0,96	1,19	1,45	1,71	
	3	0,81	1,07	1,35	1,65	
	4	0,57	0,83	1,15	1,54	
	5	0,18	0,37	0,70	1,22	
	6	0,00	0,00	0,00	0,00	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er octobre	0 h.	1,03	1,25	1,49	1,74	2,00
	1	1,01	1,23	1,48	1,73	
	2	0,92	1,16	1,42	1,71	
	3	0,77	1,02	1,32	1,64	
	4	0,49	0,76	1,09	1,50	
	5	0,11	0,25	0,50	1,07	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 octobre	0 h.	0,99	1,23	1,47	1,74	2,01
	1	0,97	1,21	1,46	1,72	
	2	0,88	1,13	1,40	1,69	
	3	0,71	0,97	1,27	1,62	
	4	0,41	0,68	1,02	1,46	
	5	0,06	0,13	0,30	0,79	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 octobre	0 h.	0,95	1,19	1,45	1,73	2,02
	1	0,92	1,17	1,43	1,72	
	2	0,83	1,09	1,37	1,68	
	3	0,64	0,91	1,23	1,60	
	4	0,33	0,58	0,93	1,40	
	5	0,03	0,06	0,15	0,47	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er nov.	0 h.	0,90	1,15	1,42	1,72	2,03
	1	0,87	1,12	1,40	1,71	
	2	0,77	1,03	1,32	1,66	
	3	0,57	0,83	1,16	1,56	
	4	0,24	0,45	0,81	1,33	
	5	0,01	0,02	0,04	0,10	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 nov.	0 h.	0,85	1,11	1,39	1,70	2,04
	1	0,82	1,08	1,37	1,69	
	2	0,71	0,97	1,29	1,64	
	3	0,50	0,76	1,10	1,52	
	4	0,15	0,34	0,68	1,22	
	5	0,00	0,00	0,01	0,01	
	6	—	—	—	—	
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 nov.	0 h.	0,81	1,07	1,37	1,69	2,05
	1	0,77	1,04	1,34	1,68	
	2	0,66	0,92	1,25	1,62	
	3	0,43	0,69	1,04	1,48	
	4	0,10	0,26	0,56	1,03	
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er déc.	0 h.	0,77	1,04	1,34	1,68	2,06
	1	0,73	1,00	1,32	1,66	
	2	0,61	0,88	1,22	1,60	
	3	0,39	0,63	0,99	1,45	
	4	0,06	0,18	0,46	1,01	
	5	—	—	—	—	
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 déc.	0 h.	0,75	1,01	1,32	1,67	2,06
	1	0,71	0,98	1,29	1,65	
	2	0,58	0,85	1,19	1,59	
	3	0,35	0,60	0,95	1,43	
	4	0,05	0,14	0,38	0,94	
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 déc.	0 h.	0,74	1,01	1,32	1,67	2,07
	1	0,70	0,97	1,28	1,65	
	2	0,57	0,83	1,18	1,58	
	3	0,33	0,58	0,94	1,42	
	4	0,04	0,13	0,37	0,91	
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

Tableau II

INTENSITÉ DE LA RADIATION SOLAIRE

tombant sur une surface horizontale, à l'Ariana, au cours du jour
et au cours de l'année

Grammes-calories par cm^2 et minute

Constante solaire : $\frac{2 \text{ gr.-calories}}{cm^2 \times \text{minute}}$

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er janvier	0 h.	0,38	0,51	0,67	0,84	1,04
	1	0,34	0,47	0,62	0,79	0,99
	2	0,23	0,34	0,48	0,64	0,83
	3	0,03	0,17	0,27	0,41	0,59
	4	0,01	0,02	0,06	0,12	0,27
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 janvier	0 h.	0,40	0,54	0,70	0,88	1,08
	1	0,36	0,50	0,65	0,83	1,03
	2	0,26	0,37	0,51	0,68	0,87
	3	0,11	0,19	0,30	0,44	0,62
	4	0,01	0,03	0,07	0,15	0,30
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 janvier	0 h.	0,45	0,59	0,75	0,93	1,13
	1	0,41	0,55	0,71	0,88	1,08
	2	0,29	0,41	0,56	0,73	0,91
	3	0,14	0,23	0,34	0,49	0,67
	4	0,02	0,05	0,09	0,19	0,36
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er février	0 h.	0,51	0,66	0,83	1,01	1,21
	1	0,46	0,62	0,78	0,96	1,16
	2	0,35	0,48	0,63	0,80	1,01
	3	0,18	0,28	0,40	0,56	0,75
	4	0,04	0,08	0,14	0,25	0,42
	5	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 février	0 h.	0,53	0,73	0,91	1,09	1,29
	1	0,53	0,69	0,85	1,04	1,24
	2	0,41	0,55	0,71	0,89	1,09
	3	0,23	0,34	0,48	0,64	0,82
	4	0,06	0,12	0,20	0,32	0,50
	5	0,00	0,00	0,01	0,03	0,12
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 février	0 h.	0,65	0,91	0,99	1,18	1,38
	1	0,61	0,77	0,94	1,13	1,33
	2	0,48	0,63	0,79	0,97	1,17
	3	0,29	0,41	0,56	0,72	0,92
	4	0,09	0,16	0,25	0,39	0,57
	5	0,00	0,01	0,02	0,05	0,19
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er mars	0 h.	0,71	0,88	1,06	1,25	1,45
	1	0,66	0,83	1,01	1,20	1,40
	2	0,53	0,69	0,85	1,04	1,24
	3	0,33	0,47	0,62	0,79	0,99
	4	0,12	0,21	0,32	0,46	0,65
	5	0,01	0,02	0,04	0,12	0,26
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 mars	0 h.	0,78	0,96	1,15	1,34	1,54
	1	0,74	0,91	1,09	1,28	1,48
	2	0,60	0,76	0,93	1,12	1,32
	3	0,40	0,54	0,70	0,87	1,07
	4	0,18	0,27	0,39	0,54	0,73
	5	0,01	0,04	0,08	0,18	0,34
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 mars	0 h.	0,85	1,04	1,22	1,42	1,62
	1	0,81	0,98	1,17	1,36	1,56
	2	0,67	0,84	1,01	1,20	1,40
	3	0,46	0,61	0,77	0,95	1,14
	4	0,23	0,33	0,46	0,62	0,81
	5	0,04	0,07	0,14	0,25	0,42
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er avril	0 h.	0,92	1,11	1,30	1,49	1,69
	1	0,87	1,06	1,24	1,44	1,64
	2	0,74	0,91	1,09	1,28	1,48
	3	0,53	0,68	0,85	1,03	1,23
	4	0,28	0,41	0,54	0,71	0,89
	5	0,07	0,12	0,20	0,34	0,51
	6	0,00	0,00	0,01	0,02	0,09
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 avril	0 h.	0,98	1,16	1,35	1,55	1,75
	1	0,93	1,12	1,31	1,50	1,70
	2	0,79	0,96	1,15	1,34	1,54
	3	0,58	0,74	0,90	1,09	1,28
	4	0,33	0,47	0,61	0,77	0,96
	5	0,10	0,18	0,27	0,41	0,59
	6	0,00	0,01	0,02	0,04	0,18
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 avril	0 h.	1,02	1,21	1,40	1,59	1,79
	1	0,97	1,15	1,35	1,55	1,74
	2	0,84	1,02	1,20	1,39	1,58
	3	0,63	0,79	0,97	1,15	1,34
	4	0,38	0,51	0,66	0,83	1,01
	5	0,13	0,22	0,33	0,47	0,65
	6	0,00	0,02	0,03	0,10	0,25
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er mai	0 h.	1,05	1,24	1,44	1,63	1,83
	1	1,01	1,20	1,39	1,58	1,76
	2	0,87	1,05	1,24	1,43	1,62
	3	0,67	0,83	1,01	1,19	1,38
	4	0,42	0,55	0,72	0,89	1,07
	5	0,16	0,27	0,38	0,53	0,71
	6	0,01	0,03	0,07	0,16	0,31
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 mai	0 h.	1,08	1,27	1,46	1,66	1,85
	1	1,03	1,22	1,41	1,60	1,80
	2	0,90	1,08	1,27	1,46	1,65
	3	0,70	0,87	1,04	1,22	1,43
	4	0,45	0,59	0,75	0,92	1,11
	5	0,19	0,30	0,42	0,57	0,75
	6	0,03	0,05	0,10	0,20	0,36
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 mai	0 h.	1,10	1,29	1,48	1,67	1,88
	1	1,05	1,24	1,43	1,62	1,82
	2	0,92	1,10	1,29	1,48	1,67
	3	0,73	0,89	1,06	1,25	1,45
	4	0,47	0,61	0,77	0,95	1,13
	5	0,22	0,32	0,45	0,60	0,78
	6	0,04	0,07	0,13	0,24	0,40
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
	8	—	—	—	—	—
1er juin	0 h.	1,11	1,30	1,49	1,68	1,88
	1	1,06	1,25	1,44	1,63	1,83
	2	0,94	1,11	1,30	1,49	1,68
	3	0,74	0,90	1,07	1,26	1,46
	4	0,49	0,63	0,79	0,97	1,15
	5	0,24	0,34	0,47	0,63	0,81
	6	0,04	0,09	0,16	0,27	0,45
	7	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07
	8	—	—	—	—	—
11 juin	0 h.	1,11	1,30	1,50	1,69	1,88
	1	1,07	1,26	1,45	1,64	1,83
	2	0,95	1,12	1,31	1,50	1,69
	3	0,75	0,91	1,08	1,27	1,47
	4	0,51	0,65	0,81	0,98	1,16
	5	0,25	0,36	0,49	0,65	0,82
	6	0,05	0,10	0,17	0,29	0,46
	7	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09
	8	—	—	—	—	—
21 juin	0 h.	1,11	1,31	1,50	1,69	1,88
	1	1,07	1,26	1,45	1,64	1,84
	2	0,95	1,13	1,31	1,50	1,70
	3	0,75	0,92	1,09	1,28	1,47
	4	0,51	0,65	0,81	0,99	1,17
	5	0,25	0,36	0,50	0,66	0,83
	6	0,05	0,10	0,18	0,30	0,46
	7	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er juillet	0 h.	1,11	1,30	1,49	1,69	1,88
	1	1,07	1,26	1,45	1,64	1,83
	2	0,94	1,12	1,31	1,49	1,69
	3	0,74	0,91	1,09	1,27	1,47
	4	0,50	0,65	0,80	0,98	1,16
	5	0,25	0,36	0,49	0,65	0,82
	6	0,05	0,10	0,17	0,29	0,45
	7	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03
	8	—	—	—	—	—
11 juillet	0 h.	1,10	1,29	1,49	1,68	1,87
	1	1,06	1,25	1,44	1,63	1,82
	2	0,93	1,11	1,30	1,49	1,68
	3	0,73	0,90	1,08	1,26	1,46
	4	0,48	0,63	0,79	0,97	1,25
	5	0,24	0,34	0,47	0,63	0,81
	6	0,04	0,09	0,16	0,27	0,44
	7	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07
	8	—	—	—	—	—
21 juillet	0 h.	1,09	1,28	1,47	1,67	1,86
	1	1,04	1,23	1,42	1,62	1,81
	2	0,92	1,10	1,29	1,48	1,67
	3	0,72	0,88	1,07	1,25	1,44
	4	0,47	0,61	0,77	0,95	1,13
	5	0,22	0,33	0,45	0,61	0,78
	6	0,03	0,07	0,13	0,24	0,40
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
	8	—	—	—	—	—
1er août	0 h.	1,07	1,26	1,45	1,64	1,84
	1	1,03	1,21	1,40	1,59	1,79
	2	0,90	1,07	1,26	1,45	1,65
	3	0,70	0,86	1,03	1,21	1,47
	4	0,45	0,59	0,74	0,91	1,10
	5	0,19	0,29	0,41	0,57	0,74
	6	0,02	0,05	0,10	0,20	0,36
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 août	0 h.	1,05	1,24	1,43	1,62	1,81
	1	1,00	1,19	1,38	1,57	1,76
	2	0,87	1,05	1,23	1,42	1,61
	3	0,67	0,83	1,00	1,18	1,37
	4	0,41	0,55	0,71	0,88	1,06
	5	0,16	0,26	0,38	0,52	0,70
	6	0,01	0,04	0,08	0,16	0,31
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 août	0 h.	1,01	1,20	1,39	1,58	1,78
	1	0,97	1,15	1,34	1,53	1,73
	2	0,83	1,01	1,19	1,38	1,57
	3	0,63	0,78	0,96	1,14	1,33
	4	0,38	0,51	0,66	0,82	1,01
	5	0,12	0,21	0,33	0,47	0,65
	6	0,00	0,02	0,04	0,10	0,25
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er sept.	0 h.	0,97	1,15	1,34	1,53	1,73
	1	0,92	1,11	1,29	1,48	1,68
	2	0,78	0,95	1,14	1,32	1,52
	3	0,58	0,73	0,90	1,08	1,27
	4	0,33	0,46	0,60	0,76	0,95
	5	0,09	0,16	0,26	0,40	0,57
	6	0,00	0,01	0,02	0,04	0,17
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 sept.	0 h.	0,91	1,10	1,23	1,47	1,67
	1	0,87	1,05	1,23	1,43	1,62
	2	0,74	0,90	1,09	1,27	1,47
	3	0,53	0,68	0,84	1,02	1,22
	4	0,28	0,40	0,54	0,69	0,88
	5	0,06	0,12	0,21	0,33	0,50
	6	0,00	0,00	0,01	0,02	0,10
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 sept.	0 h.	0,85	1,03	1,22	1,41	1,61
	1	0,81	0,98	1,16	1,36	1,55
	2	0,67	0,84	1,01	1,20	1,40
	3	0,47	0,61	0,77	0,95	1,14
	4	0,23	0,34	0,46	0,62	0,81
	5	0,04	0,08	0,14	0,25	0,42
	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er oct.	0 h.	0,79	0,96	1,14	1,33	1,53
	1	0,74	0,91	1,09	1,28	1,47
	2	0,61	0,77	0,94	1,12	1,32
	3	0,41	0,54	0,70	0,87	1,07
	4	0,18	0,28	0,39	0,55	0,74
	5	0,01	0,04	0,08	0,18	0,35
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 oct.	0 h.	0,72	0,89	1,07	1,25	1,45
	1	0,67	0,84	1,02	1,20	1,40
	2	0,54	0,70	0,86	1,04	1,24
	3	0,35	0,48	0,62	0,79	0,99
	4	0,13	0,22	0,33	0,47	0,65
	5	0,01	0,02	0,04	0,12	0,27
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 oct.	0 h.	0,64	0,81	0,98	1,17	1,36
	1	0,60	0,76	0,93	1,12	1,31
	2	0,47	0,62	0,78	0,96	1,15
	3	0,29	0,41	0,55	0,71	0,90
	4	0,09	0,16	0,25	0,39	0,57
	5	0,00	0,01	0,02	0,05	0,19
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

		Coefficient de transmission				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er nov.	0 h.	0,56	0,72	0,89	1,08	1,27
	1	0,52	0,67	0,84	1,02	1,22
	2	0,40	0,54	0,69	0,87	1,07
	3	0,22	0,34	0,47	0,63	0,81
	4	0,06	0,11	0,19	0,31	0,48
	5	0,00	0,00	0,01	0,03	0,11
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 nov.	0 h.	0,50	0,65	0,82	1,00	1,19
	1	0,45	0,61	0,76	0,94	1,14
	2	0,34	0,47	0,62	0,79	0,99
	3	0,17	0,27	0,39	0,55	0,74
	4	0,03	0,07	0,13	0,24	0,41
	5	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 nov.	0 h.	0,44	0,59	0,75	0,93	1,13
	1	0,40	0,54	0,71	0,88	1,08
	2	0,29	0,41	0,56	0,73	0,91
	3	0,14	0,23	0,34	0,49	0,67
	4	0,02	0,04	0,09	0,19	0,36
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
1er déc.	0 h.	0,40	0,54	0,70	0,88	1,07
	1	0,36	0,50	0,65	0,83	1,02
	2	0,26	0,37	0,51	0,68	0,86
	3	0,11	0,19	0,30	0,44	0,62
	4	0,01	0,03	0,07	0,15	0,30
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
11 déc.	0 h.	0,38	0,51	0,67	0,84	1,04
	1	0,34	0,47	0,62	0,79	0,99
	2	0,23	0,34	0,48	0,64	0,83
	3	0,10	0,17	0,27	0,41	0,59
	4	0,01	0,02	0,05	0,12	0,27
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—
21 déc.	0 h.	0,37	0,50	0,65	0,83	1,02
	1	0,33	0,46	0,61	0,78	0,97
	2	0,22	0,33	0,47	0,63	0,82
	3	0,09	0,16	0,26	0,40	0,58
	4	0,01	0,02	0,04	0,12	0,26
	5	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—
	7	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—

TABLEAU III

Quantité diurne de radiation (en grammes-calories) reçue à l'Ariana (latitude 36° 49' Nord)

Coefficient de transmission	PAR UNE SURFACE DE 1 CM2									
	Normale aux rayons					Horizontale				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1er janvier	242	369	539	776	1182	104	151	211	287	385
11 janvier	261	387	558	796	1200	113	163	225	304	404
21 janvier	284	414	5-9	827	1226	130	183	249	331	435
1er février	317	453	631	869	1262	154	213	284	372	479
11 février	352	492	674	912	1300	182	246	324	416	528
21 février	389	534	719	956	1339	214	285	368	465	581
1er mars	419	568	755	992	1372	242	318	405	507	627
11 mars	456	609	799	1036	1412	270	360	453	561	684
21 mars	490	648	840	1077	1452	315	402	501	613	741
1er avril	526	687	882	1120	1494	354	447	551	668	800
11 avril	555	719	917	1155	1532	386	484	592	713	850
21 avril	580	747	947	1188	1567	415	517	629	754	894
1er mai	601	771	974	1217	1600	440	545	660	789	932
11 mai	619	791	996	1242	1629	460	568	686	817	963
21 mai	632	807	10 4	1262	1653	475	585	706	840	987
1er juin	643	819	1029	1279	1674	487	599	721	857	1006
11 juin	648	826	1036	1288	1685	493	606	729	865	1016
21 juin	649	827	1038	1290	1687	495	608	731	869	1019
1er juillet	647	824	1034	1285	1682	492	605	728	864	1015
11 juillet	641	817	1025	1275	1668	485	597	719	854	1003
21 juillet	630	805	1011	1258	1647	475	585	705	838	985
1er août	615	787	990	1234	1618	458	565	683	813	958
11 août	597	766	967	1208	1587	438	542	657	785	926
21 août	576	742	940	1178	1553	414	515	626	750	889
1er septembre	549	712	907	1143	1514	383	479	587	707	841
11 septembre	522	681	873	1108	1477	352	444	547	663	795
21 septembre	490	646	836	1069	1439	317	404	502	613	741
1er octobre	456	608	796	1030	1401	282	363	456	563	686
11 octobre	421	569	754	988	1362	246	322	409	511	630
21 octobre	384	528	711	946	1324	212	282	364	461	575
1er novembre	345	484	664	899	1283	178	243	317	408	518
11 novembre	312	446	623	859	1249	151	209	279	366	472
21 novembre	284	413	586	823	1219	130	183	248	330	433
1er décembre	261	384	557	794	1195	114	162	225	304	404
11 décembre	247	369	538	775	1180	104	151	211	287	385
21 décembre	241	361	531	768	1175	101	146	205	281	378

TABLEAU IV

Variation du rapport $\frac{Rh}{Rn} = \frac{\text{radiation diurne sur surface horizontale}}{\text{radiation diurne sur surface normale}}$

DATES		COEFFICIENT DE TRANSMISSION				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Janvier	1	.430	.409	.391	.370	.326
	11	.433	.421	.403	.382	.337
	21	.458	.442	.423	.400	.355
Février	1	.486	.470	.450	.428	.379
	11	.517	.500	.481	.451	.406
	21	.550	.530	.512	.486	.434
Mars	1	.578	.560	.536	.511	.456
	11	.612	.591	.567	.542	.484
	21	.641	.620	.596	.569	.510
Avril	1	.673	.651	.625	.596	.535
	11	.695	.673	.646	.617	.555
	21	.716	.692	.664	.635	.571
Mai	1	.732	.707	.678	.648	.583
	11	.743	.718	.689	.657	.591
	21	.752	.723	.696	.666	.597
Juin	1	.757	.731	.700	.670	.601
	11	.760	.734	.704	.672	.603
	21	.763	.735	.704	.674	.604
Juillet	1	.760	.734	.703	.672	.603
	11	.757	.731	.701	.670	.601
	21	.754	.727	.697	.666	.598
Août	1	.745	.718	.690	.658	.592
	11	.734	.708	.679	.650	.583
	21	.717	.694	.666	.637	.572
Septembre	1	.698	.673	.647	.619	.555
	11	.674	.652	.627	.598	.538
	21	.647	.625	.600	.573	.515
Octobre	1	.618	.594	.573	.547	.490
	11	.586	.566	.542	.517	.463
	21	.552	.533	.512	.487	.434
Novembre	1	.516	.502	.477	.454	.404
	11	.484	.467	.448	.426	.378
	21	.458	.442	.420	.401	.355
Décembre	1	.437	.422	.404	.383	.338
	11	.421	.409	.392	.370	.326
	21	.419	.404	.386	.366	.322

J.-V. AMIABLE

FORMULES ET TABLES POUR CALCULS ACTINOMÉTRIQUES

a) Tables des distances zénithales et des masses atmosphériques pour la latitude de l'Ariana (φ = 36° 49' N)

A tout instant, dans les calculs de radiation, il est nécessaire de connaître la distance zénithale (Z) du soleil et la masse atmosphérique (m); nous avons établi, pour l'Ariana, les valeurs de Z et de m aux différentes heures du jour et pour tous les jours de l'année (table 1); les valeurs correspondantes de m sont données d'après la table calculée par M. Bemporad (1), de l'Observatoire de Naples (table 2).

Calcul de Z :

La valeur de Z est fournie par la formule bien connue de trigonométrie sphérique :

$$\text{Sin } h = \text{Sin } \varphi \text{ Sin } \delta + \text{Cos } \varphi \text{ Cos } \delta \text{ Cos } t,$$

dans laquelle :

h = hauteur du soleil = 90° — Z,
φ = latitude géographique du lieu considéré,
δ = déclinaison du soleil,
t = temps solaire vrai.

Prenons un angle auxiliaire M et faisons :

$$\text{Tg } M = \text{Cotg } \varphi \text{ Cos } t \text{ (1).}$$

On a alors :

$$\text{Cos } Z = \text{Sin } h = \frac{\text{Sin } \varphi}{\text{Cos } M} \cdot \text{Sin } (M + \delta)$$

Cette formule est facile à calculer par logarithmes pourvu que l'on établisse les valeurs de tangente M et de $\frac{\text{Sin } \varphi}{\text{Cos } M}$ pour les différentes valeurs de t.

On a :

$$\log \text{Cos } Z = \log \frac{\text{Sin } \varphi}{\text{Cos } M} + \log \text{Sin } (M + \delta)$$

(1) Voir Rend. Acc. Lincei (der. 5 — 2 Sem., pp. 66-71, Rome 1907), et « Smithsonian Physical Tables », Washington (U. S. A.).

De la formule (1) nous tirons :

$$\log \text{Tg } M = \log \text{Cotg } \varphi + \log \text{Cos } t,$$

soit, pour $\varphi = 36° 49'$ N (latitude de l'Ariana) :

$$\log \text{Cotg } \varphi = 0.1258,$$

d'où :

$$\log \text{Tg } M = 0.1258 + \log \text{Cos } t,$$

ce qui donne Tg M en fonction des diverses valeurs de t et par conséquent M et permet d'avoir log Sin $(M + t)$.

D'autre part,

$$\log \frac{\text{Sin } \varphi}{\text{Cos } M} = \log \text{Sin } \varphi - \log \text{Cos } M,$$

d'où :

$$\log \text{Sin } \varphi = 9.7776 \text{ (pour } \varphi = 36° 49' \text{ N)}$$

et log Cos M d'après M connu plus haut.

Nous sommes donc en possession des divers éléments pour calculer Cos Z et par suite Z, dont nous donnons la table *in extenso* (table 1) pour toutes les heures. Les tables préparatoires permettraient du reste d'étendre le calcul à tous les intervalles de 40 secondes.

Pour simplifier, les tables des valeurs de Z et les valeurs de ses correspondants ne comprennent que les valeurs ante-meridiem, les valeurs post-meridien étant considérées comme symétriques. En réalité, les valeurs ne sont pas exactement les mêmes pour ces deux moitiés de la journée, mais l'écart, peu important (2/10 de degré au plus aux heures extrêmes pour Z), peut être négligé pour les travaux dont nous nous occupons.

b) Transformation du temps légal en temps vrai et réciproquement

Dans toutes les mesures d'intensité du rayonnement solaire, il est nécessaire de régler les appareils sur le temps vrai afin que les données se rapportent à un temps astronomiquement défini; nous avons calculé les concordances entre le temps légal et le temps vrai pour notre station. Les tables 3 et 4 indiquent : l'une, l'heure du passage du soleil au méridien de Tunis (Ariana) en temps légal pour 1926, l'autre, les heures du lever et du coucher du soleil en temps légal en 1926 à l'Ariana. Cette dernière sert à régler les enregistreurs.

Heure du passage du soleil au méridien de Tunis en temps légal (1926)

La longitude λ de l'Ariana (Service Botanique de Tunisie) est de 7° 857 Est Paris, soit 31' 26'' d'heure ou 31' 43/100.

A Tunis, temps légal = temps légal de Paris + 60' (heure de l'Europe Centrale).

Temps civil moyen local = temps légal de Paris + 60' — 31' 26'',
= temps légal de Paris + 28' 34'',

L'Annuaire du Bureau des Longitudes donnant l'heure légale du passage du soleil au méridien de Paris (temps vrai), il suffit d'ajouter 28' 34'' à cette donnée pour obtenir l'heure légale du passage au méridien de la station (temps vrai) pour chaque jour de l'année (table 3).

Heures du lever et du coucher du soleil en temps légal

L'heure du lever à Tunis (temps légal) est l'heure du lever à Paris (temps légal) corrigée d'après la latitude et la longitude de Tunis (table 4).

L'heure du lever à Paris est donnée tous les jours de l'année par l'Annuaire du Bureau des Longitudes (1926, pp. 2-24);

La correction de latitude est obtenue à l'aide de l'intervalle semi-diurne du lever à Paris et des tables de correction pour la latitude; l'intervalle semi-diurne du lever à Paris est la différence entre le temps écoulé depuis le lever du soleil à Paris et son passage au méridien de Paris; il est facile à calculer d'après les données des pages 2-24; l'intervalle semi-diurne et les diverses latitudes forment un tableau à double entrée (pp. 41-43 de l'Annuaire 1926) qui donne les chiffres de la correction de la latitude (1). Lorsque la latitude est boréale, ce qui est notre cas (36° 8 N. à l'Ariana), les chiffres trouvés sont à *changer de signe* pour le lever du soleil. La *correction de longitude* consiste simplement à ajouter 28' 34'' (voir précédemment calcul de la table 3). L'heure du coucher du soleil à Tunis en temps légal donne lieu au même calcul (l'intervalle semi-diurne du coucher du soleil à Paris est la différence de temps écoulé entre le passage du soleil au méridien et son coucher à Paris), mais la correction de latitude est alors à ajouter *avec son signe*.

En résumé :

Heure lever Tunis = Heure lever Paris + correction de latitude (changée de signe) + corr. longitude.

Heure coucher Tunis = Heure coucher Paris + correction de latitude (avec son signe) + correction longitude.

---

(1) Le signe porté sur la table est (—) si l'intervalle semi-diurne est plus petit que 6 heures, (+) si l'intervalle semi-diurne est plus grand que 6 heures.

Les corrections sont données en minute de temps.

Voir, pages 106 à 118, la Table I :

VALEURS DE (Z), DISTANCE ZÉNITHALE, ET DE (m), ÉPAISSEUR ATMOSPHÉRIQUE

pour toutes les heures des jours de l'année à l'Ariana

$\varphi = 36° 49'$ N

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

JANVIER

Heures	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1				82°3	73°3	66°2	61°5	59·8	1.99	2.09	2.47	3.45	7.13			
2				— 3	— 2	— 1	— 4	— 7	1.98	2.08	2.46	3.43	7.13			
3				— 3	— 2	— 1	— 4	— 7	1.98	2.08	2.46	3.43	7.13			
4				— 2	— 1	— 0	— 3	— 7	1.98	2.08	2.45	3.41	7.04			
5				— 0	— 0	65 8	— 1	— 3	1.96	2.06	2.43	3.39	6.88			
6				— 0	72°9	— 7	— 0	— 3	1.96	2.06	2.42	3.38	6.88			
7				81°9	— 8	— 6	60°9	— 2	1.95	2.05	2.41	3.36	6.81			
8				— 8	— 7	— 5	— 8	— 2	1.95	2.05	2.40	3.34	6.73			
9				— 7	— 6	— 3	— 6	58·8	1.92	2.03	2.39	3.32	6.66			
10				— 6	— 5	— 2	— 6	— 8	1.92	2.03	2.38	3.30	6.58			
11				— 5	— 3	— 1	— 4	— 7	1.92	2.02	2.37	3.26	6.51			
12				— 4	— 3	— 0	— 2	— 5	1.91	2.01	2.36	3.26	6.44			
13				— 2	— 1	64°8	— 1	— 4	1 90	2.00	2.34	3.23	6.31			
14				— 2	— 0	— 7	59°9	— 2	1.89	1.99	2.33	3.21	6.31			
15				— 0	71°9	— 5	— 7	— 0	1.88	1.98	2.31	3.19	6.18			
16				80°9	— 7	— 4	— 6	57.8	1.88	1.98	2.30	3.16	6.11			
17				— 8	— 5	— 2	— 4	— 7	1.87	1.96	2.29	3.13	6.05			
18				— 6	— 4	— 0	— 1	— 3	1.84	1.94	2.27	3.11	5.93			
19				— 5	— 2	63°8	58°9	— 2	1.84	1.93	2.26	3.08	5.87			
20				— 3	— 1	— 6	— 8	— 0	1.83	1.92	2.24	3.07	5.76			
21				— 2	70°9	— 5	— 6	56·8	1.82	1.91	2.23	3.03	5.70			
22				— 0	— 7	— 2	— 3	— 5	1.80	1.90	2.21	3.00	5.60			
23				79°8	— 5	— 0	— 1	— 3	1.79	1.89	2.19	2.97	5.50			
24				— 7	— 3	62°8	— 0	— 0	1.78	1.88	2.17	2.95	5.45			
25			90°0	— 5	— 1	— 6	57·7	55·8	1.77	1.87	2.15	2.91	5.35	39.65		
26			89°8	— 3	69°9	— 5	— 5	— 7	1.77	1.85	2 15	2.88	5.26	36.44		
27			— 7	— 1	— 7	— 2	— 2	— 3	1.75	1.84	2.13	2.85	5.16	34.98		
28			— 5	— 0	— 5	— 0	— 0	— 0	1.74	1.83	2.12	2.83	5.12	32.33		
29			— 4	78°8	— 3	61°7	56·7	54·8	1.73	1.81	2.10	2.80	5.03	31.13		
30			— 2	— 6	— 1	— 4	— 4	— 5	1.72	1.80	2.08	2 78	4.95	28.91		
31			— 0	— 3	68°8	— 1	— 0	— 2	1.71	1.78	2.06	2.74	4.83	26.96		

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

FÉVRIER

HEURES	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1			88°8	78°2	68°7	61°0	55°9	54°0	1.70	1.78	2.06	2.73	4.79	25 20		
2			— 7	— 0	— 4	60°7	— 6	53°7	1.69	1.77	2.04	2.69	4·72	24.40		
3			— 5	77°8	— 2	— 4	— 2	— 3	1.67	1.75	2.02	2.67	4.64	22.91		
4			— 3	— 6	— 0	— 2	— 1	— 2	1.67	1.75	2.01	2.65	4.57	21.57		
5			— 1	— 4	67°7	59°9	54°7	52°8	1.65	1.73	1.99	2.62	4.50	20.35		
6			87°9	— 1	— 5	— 6	— 5	— 5	1.64	1.72	1.98	2.60	4.40	19.25		
7			— 7	76°9	— 2	— 3	— 1	— 2	1.63	1.71	1.96	2.57	4.34	18.25		
8			— 5	— 7	— 0	— 0	53°8	51°8	1.61	1.69	1.94	2.55	4.28	17.33		
9			— 3	— 5	66°7	58°8	— 5	— 5	1.60	1.68	1.92	2.52	4.22	16.49		
10			— 1	— 2	— 5	— 5	— 1	— 2	1.59	1.67	1.91	2.50	4.13	15.72		
11			86°9	— 0	— 2	— 2	52°8	50°8	1.58	1.65	1.89	2.47	4.07	15.02		
12			— 7	75°8	— 0	— 0	— 6	— 7	1.57	1.64	1.88	2.45	4.02	14.37		
13			— 5	— 6	65°7	57°6	— 2	— 2	1.56	1.63	1.86	2.42	3.97	13.76		
14			— 3	— 3	— 4	— 3	51°9	49°8	1.54	1.62	1.84	3.40	3.89	13.20		
15			— 1	— 1	— 2	— 1	— 7	— 7	1.54	1.61	1.83	2.38	3.84	12.68		
16			85°8	74°9	64°9	56°7	— 2	— 2	1.53	1.59	1.81	2.35	3.80	11.97		
17			— 6	— 6	— 6	— 4	50°9	48·8	1.52	1.58	1.80	2.32	3.72	11.54		
18			— 4	— 4	— 4	— 1	— 6	— 5	1.51	1.57	1.79	2.30	3.67	11.17		
19			— 2	— 1	— 1	55°8	— 2	— 2	1.50	1.56	1.77	2.28	3.61	10.75		
20			84°9	73°9	63°9	— 5	49°9	47·8	1.49	1.55	1.76	2.26	3.57	10.22		
21			— 7	— 7	— 5	— 1	— 4	— 3	1.47	1.53	1.75	2.23	3.53	9.90		
22			— 5	— 4	— 2	54°9	— 3	— 2	1.47	1.53	1.74	2.21	3.47	9.59		
23			— 3	— 2	62°9	— 5	48°8	46 7	1.46	1.52	1.72	2.18	3.43	9.30		
24			— 0	72°9	— 7	— 2	— 5	— 3	1.45	1.51	1.71	2.16	3.38	8.90		
25			83°8	— 6	— 4	53°9	— 2	— 0	1.44	1.50	1.70	2.14	3.32	8.65		
26			— 7	— 4	— 3	— 6	47°8	45·7	1.43	1.49	1.69	2.13	3.28	8.53		
27			— 3	— 1	61°8	— 2	— 3	— 2	1.42	1.47	1.67	2.11	3.23	8.08		
28			— 1	71°9	— 5	52°9	— 1	44·8	1.41	1.47	1.66	2.09	3.19	7.87		

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

MARS

Heures	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1			82°9	71°7	61°3	52°6	46°7	44°3	1.40	1.46	1.64	2.08	3.16	7.67		
2			— 6	4	60°9	3	— 4	2	1.39	1.45	1.63	2.05	3.11	7.39		
3			4	— 1	— 6	51°9	45°9	43°7	1.38	1.44	1.62	2.03	3.07	7.21		
4			— 1	70°8	— 4	— 6	— 6	— 3	1.37	1.43	1.61	2.02	3.02	6.96		
5			81°9	— 6	— 0	— 2	— 1	42°8	1.36	1.42	1.59	2.00	2.98	6.81		
6			— 7	— 3	59°8	— 1	— 0	— 7	1.36	1.41	1.59	1.99	2.95	6.66		
7			— 4	1	5	50 6	41°5	2	1.35	1.40	1.57	1.97	2.91	6.44		
8			— 2	69°8	— 3	— 3	— 2	41°8	1.34	1.39	1.56	1.96	2.86	6.31		
9			80°9	— 6	58°9	49°9	43°7	— 3	1.32	1.38	1.55	1.93	2.84	6.11		
10			— 7	— 3	— 6	— 6	— 4	— 0	1.32	1.37	1.54	1.91	2.80	5.99		
11			5	— 0	— 3	— 3	— 1	40°7	1.31	1.37	1.53	1.90	2.77	5.87		
12			— 2	68°8	— 0	48°9	42°6	— 2	1.30	1.36	1.52	1.88	2.74	5.70		
13			79°9	4	57°8	— 6	— 2	39°8	1.30	1.35	1.51	1.88	2.69	5.55		
14			— 7	— 2	— 4	— 2	41°8	— 3	1.29	1.34	1.50	1.85	2.67	5.45		
15			— 5	— 0	— 2	47°9	— 5	— 0	1.28	1.33	1.49	1.84	2.65	5.35		
16			— 2	67°7	56°8	— 7	— 1	38°7	1.28	1.32	1.48	1.82	2.62	5.21		
17			— 0	— 4	— 5	— 2	40°7	— 2	1.27	1.31	1.47	1.80	2.59	5.12		
18			78°7	— 1	— 3	— 0	— 4	37°8	1.26	1.31	1.46	1.79	2.56	4.99		
19			— 5	66°9	— 1	46°7	— 0	— 5	1.26	1.30	1.46	1.79	2.54	4.91		
20			— 3	— 7	55°7	4	39°7	— 2	1.25	1.29	1.45	1.77	2.52	4.83		
21		90°0	— 0	— 4	— 4	— 0	— 3	36°7	1.24	1.29	1.44	1.76	2.49	4.72	39.65	
22		89°8	77°8	— 1	— 2	45°8	38°9	— 3	1.24	1.28	1.44	1.75	2.46	4.64	36.44	
23		— 5	— 5	65°9	54°8	— 3	— 5	35°8	1.23	1.27	1.42	1.73	2.44	4.54	32.33	
24		3	3	— 7	— 6	— 0	— 1	— 5	1.22	1.27	1.41	4.73	2.42	4.47	29.99	
25		— 1	— 1	— 4	— 2	44°7	37°8	— 2	1.22	1.26	1.41	1.71	2.40	4.40	27.90	
26		88°8	76°8	— 2	— 0	— 3	— 4	34°7	1.21	1.26	1.40	1.70	2.38	4.31	25 20	
27		— 6	— 6	64°8	53°8	— 1	36°9	— 3	1.21	1.25	1.39	1.69	2.34	4.25	23.63	
28		— 3	— 3	— 6	— 4	43°7	— 6	33°8	1.20	1.24	1.38	1.68	2.32	4.16	21.57	
29		— 1	— 1	— 4	— 2	— 4	— 3	— 5	1.20	1.24	1.37	1.67	2.30	4.10	20 35	
30		87°8	75°8	— 1	52°8	— 1	— 0	— 2	1.19	1.23	1.37	1.65	2.28	4.02	18.74	
31		— 6	— 6	63°9	— 6	42°7	35°5	32°7	1.19	1.22	1.36	1.64	2.26	3.97	17.78	

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

AVRIL

Heures	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5 19	6 18	7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	Midi vrai	Midi vrai	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
Jours																
1		87°4	75°4	63°6	52°4	42°4	35°2	32°3	1.18	1.22	1.35	1.61	2.24	3.91	16.90	
2		— 2	— 2	— 4	— 1	— 2	34°9	— 0	1.18	1.21	1.35	1.62	2.23	3.86	16.10	
3		— 0	74°9	— 1	51°8	41°9	— 6	31°7	1.18	1.21	1.34	1.61	2.20	3.80	15.36	
4		86°7	— 7	62°9	— 5	— 5	— 1	— 2	1.17	1.20	1.33	1.60	2.18	3.74	14.37	
5		— 5	— 5	— 6	— 3	— 2	33°8	30°8	1.16	1.20	1.32	1.60	2.15	3.70	13.76	
6		— 2	— 2	— 4	— 0	40°8	— 3	— 3	1.16	1.19	1.31	1.59	2.14	3.63	12.94	
7		— 1	— 1	— 2	50°7	— 7	— 2	— 2	1.16	1.19	1.31	1.57	2.13	3.61	12.68	
8		85°8	73°8	— 0	— 5	— 3	32°7	29°7	1.15	1.19	1.31	1.57	2.12	3.55	11.97	
9		— 6	— 6	61°7	— 3	— 1	— 4	— 3	1.14	1.18	1.30	1.56	2.10	3.51	11.54	
10		— 3	— 3	— 5	— 0	39°7	31°9	28°8	1.14	1.18	1.29	1.55	2.09	3.45	10.94	
11		— 2	— 2	— 3	49°7	— 5	— 8	— 7	1.14	1.18	1.29	1.54	2.08	3.43	10.75	
12		84°9	72°9	— 1	— 5	— 2	— 3	— 2	1.13	1.17	1.29	1.54	2.06	3.38	10.22	
13		— 7	— 7	60°8	— 3	38°9	— 0	27°8	1.13	1.17	1.28	1.53	2.05	3.34	9.90	
14		— 5	— 5	— 6	— 1	— 6	30°7	— 5	1.13	1.16	1.28	1.53	2.03	3.30	9.59	
15		— 3	— 3	— 4	48°7	— 4	— 4	— 2	1.12	1.16	1.27	1.52	2.02	3.26	9.30	
16		— 1	— 1	— 2	— 6	— 1	— 1	26°8	1.12	1.15	1.27	1.51	2.01	3.23	9.03	
17		83°9	71°9	— 0	— 3	37°7	29°6	— 3	1.11	1.15	1.26	1.50	2.00	3.19	8.77	
18		— 6	— 6	59°8	— 1	— 5	— 3	— 0	1.11	1.14	1.26	1.50	1.99	3.14	8.41	
19		— 4	— 4	— 5	47°9	— 2	— 0	25°7	1.11	1.14	1.25	1.49	1.97	3.11	8.19	
20		— 3	— 3	— 3	— 7	— 0	28°7	— 3	1.11	1.14	1.25	1.48	1.96	3.10	8.08	
21		— 0	— 0	— 2	— 4	36°8	— 4	— 0	1.10	1.13	1.25	1.47	1.95	3.05	7.77	
22		82°9	70°9	58°9	— 2	— 5	— 1	24°7	1.10	1.13	1.24	1.47	1.93	3.03	7.67	
23		— 6	— 7	— 7	— 0	— 3	27°8	— 3	1.10	1.13	1.24	1.46	1.92	3.00	7.39	
24		— 4	— 5	— 5	46°8	— 0	— 5	— 0	1.09	1.13	1.23	1.46	1.91	2.97	7.21	
25		— 3	— 3	— 3	— 6	35°8	— 3	23°7	1.09	1.12	1.23	1.46	1.90	2.95	7.13	
26		— 1	— 2	— 1	— 4	— 5	— 0	— 4	1.09	1.12	1.22	1.45	1.89	2.93	6.96	
27		81°9	69°9	— 0	— 2	— 3	26°7	— 0	1.09	1.12	1.22	1.45	1.88	2.88	6.81	
28		— 7	— 7	57°4	— 0	— 0	— 7	22°7	1.09	1.11	1.22	1.44	1.87	2.85	6.66	
29		— 5	— 6	— 5	45°8	34°8	— 1	— 4	1.08	1.11	1.21	1.44	1.85	2.84	6.51	
30		—	— 4	— 4	— 6	— 7	25°9	— 2	1.08	1.11	1.21	1.43	1.85	2.82	6.37	

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

MAI

Heures	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1		81°1	69°2	57°3	45°5	34°4	25°6	21°8	1.08	1.11	1.21	4.43	1.84	2.79	6.24	
2		— 0	— 1	— 1	— 3	— 2	— 3	— 5	1.08	1.11	1.21	1.42	1.83	2.78	6.18	
3		80°8	68°9	56°9	— 1	— 0	— 0	— 2	1.07	1.10	1.20	1.42	1.82	2.75	6.05	
4		— 6	— 8	— 7	44°9	33°7	24°7	20°9	1.07	1.10	1.20	1.41	1.81	2.74	5.93	
5		— 4	— 6	— 6	— 7	— 6	— 6	— 7	1.07	1.10	1.20	1.41	1.81	2.72	5.82	
6		— 3	— 4	— 4	— 6	— 4	— 3	— 3	1.06	1.10	1.20	1.40	1.80	2.69	5.76	
7		— 1	— 2	— 2	— 4	— 2	— 0	— 0	1.06	1.09	1.19	1.40	1.79	2.67	5.65	
8		79°9	— 0	— 1	— 3	— 1	23°9	19°9	1.05	1.09	1.19	1.40	1.79	2.65	5.55	
9		— 8	67°9	— 0	— 1	32°8	— 6	— 5	1.05	1.09	1.19	1.39	1.78	2.64	5.50	
10		— 6	— 8	55°8	43°9	— 6	— 3	— 2	1.05	4.09	1.19	1.39	1.77	2.63	5.40	
11		— 5	— 7	— 7	— 8	— 5	— 2	— 0	1.05	1.09	1.19	1.38	1.77	2.62	5.35	
12		— 3	— 5	— 5	— 6	— 3	22,9	18°7	1.05	1.09	1.18	1.38	1.76	2.60	5.26	
13		— 2	— 4	— 4	— 5	— 2	— 8	— 5	1.05	1.09	1.18	1.38	1.76	2.59	5.21	
14		— 0	— 2	— 2	— 3	31°9	— 5	— 2	1.05	1.09	1.18	1.37	1.75	2.57	5.12	
15		78°9	— 1	— 1	— 2	— 8	— 3	— 0	1.05	1.08	1.18	1.37	1.75	2.56	5.08	
16		— 7	66°9	— 0	— 0	— 6	— 1	17°7	1.05	1.08	1.18	1.37	1.74	2.54	4.99	
17	90°0	— 6	— 8	54°9	42°9	— 5	21°9	— 5	1.05	1.08	1.17	1.36	1.74	2.53	4.95	39.65
18	89°9	— 5	— 7	— 8	— 9	— 4	— 8	— 3	1.04	1.08	1.17	1.36	1.73	2.52	4.91	37.99
19	— 7	— 4	— 6	— 7	— 7	— 3	— 6	— 2	1.04	1.08	1.17	1.36	1.73	2.51	4.87	34.98
20	— 6	— 2	— 5	— 5	— 6	— 1	— 4	16°8	1.04	1.07	1.17	1.36	1.72	2.50	4.79	33.61
21	— 4	— 1	— 4	— 4	— 5	— 0	— 2	— 7	1.04	1.07	1.17	1.35	1.72	2.49	4.75	31.13
22	— 3	— 0	— 3	— 3	— 4	30°9	— 1	— 5	1.04	1.07	1.17	1.35	1.71	2.48	4.72	29.99
23	— 2	77°9	— 1	— 3	— 3	— 8	— 0	— 3	1.04	1.07	1.16	1.35	1.71	2.46	4.68	28.91
24	— 1	— 8	— 0	— 2	— 1	— 7	20°8	— 2	1.04	4.07	1.16	1.34	1.71	2.45	4.64	27.90
25	88°9	— 7	— 0	— 0	— 0	— 5	— 5	15°8	1.04	1.07	1.16	1.34	1.70	2.45	4.61	26.06
26	— 8	— 5	65°9	53°9	41°9	— 4	— 4	— 7	1.04	1.06	1.16	1.34	1.70	2.44	4.54	25.20
27	— 7	— 4	— 8	— 8	— 9	— 3	— 3	— 5	1.04	1.06	1.16	1.34	1.69	2.43	4.50	24.40
28	— 6	— 4	— 7	— 8	— 8	— 2	— 1	— 3	1.04	1.06	1.16	1.34	1.69	2.42	4.50	23.63
29	— 5	— 3	— 6	— 7	— 7	— 1	— 0	— 2	1.04	1.06	1.15	1.33	1.69	2.41	4.47	22.91
30	— 4	— 1	— 5	— 6	— 6	— 0	19°9	— 0	1.04	1.05	1.15	1.33	1.69	2.40	4.40	22.22
31	— 2	— 1	— 4	— 5	— 5	29°9	— 7	14°8	1.04	1.05	1.15	1.33	1.68	2.40	4.40	20.94

TABLE 1.

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

JUIN

	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
HEURES	5 19	6 18	7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	Midi vrai	Midi vrai	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
Jours																
1	88°2	77°0	65°3	53°5	41°5	29°9	19°7	14°8	1.04	1.05	1.15	1.33	1.68	2.39	4.37	20.94
2	— 2	76°9	— 2	— 4	— 3	— 8	— 6	— 7	1.04	1.05	1.15	1.32	1.68	2.38	4.34	20.94
3	— 0	— 9	— 2	— 3	— 3	— 7	— 5	— 5	1.03	1.05	1.15	1.32	1.67	2.38	4.34	19.79
4	87°9	— 8	— 2	— 2	— 2	— 6	— 3	— 3	1.03	1.05	1.15	1.32	1.67	2.38	4.31	19.25
5	— 9	— 8	— 1	— 2	— 2	— 6	— 3	— 3	1.03	1.05	1.15	1.32	1.67	2.37	4.31	19.25
6	— 8	— 7	— 1	— 2	— 2	— 5	— 2	— 2	1.03	1.05	1.15	1.32	1.67	2.37	4.28	18.74
7	— 7	— 6	— 0	— 2	— 1	— 5	— 2	— 2	1.03	1.05	1.15	1.32	1.67	2.36	4.25	18.25
8	— 7	— 6	— 0	— 1	— 1	— 4	— 1	— 0	1.03	1.05	1.15	1.32	1.67	2.36	4.25	18.25
9	— 6	— 5	64°9	— 0	— 0	— 3	— 0	13°9	1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.35	4.22	17.78
10	— 5	— 5	— 8	— 0	— 0	— 3	— 0	— 9	1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.34	4.22	17.33
11	— 5	— 4	— 8	52°9	40°9	— 2			1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.34	4.19	17.33
12	— 5	— 4	— 8	— 9	— 9	— 2		7	1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.34	4.19	17.33
13	— 4	— 4	— 7	— 9	— 8	— 2	— 8	— 7	1.03	1.05	1.14	1.31	1.66	2.33	4.19	16.90
14	— 4	— 3	— 7	— 8	— 8	— 1	— 7	— 5	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.33	4.16	16.90
15	— 4	— 3	— 7	— 8	— 8	— 1	— 7	— 5	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.33	4.16	16.90
16	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
17	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
18	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
19	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
20	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
21	— 2	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.10
22	— 2	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.10
23	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
24	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
25	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
26	— 3	— 2	— 6	— 7	— 7	— 0	— 6	— 4	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.32	4.13	16.49
27	— 3	— 3	— 7	— 8	— 8	— 1	— 7	— 5	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.33	4.16	16.49
28	— 3	— 3	— 7	— 8	— 8	— 1	— 7	— 5	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.33	4.16	16.49
29	— 4	— 3	— 7	— 8	— 8	— 1	— 7	— 5	1.03	1.05	1.14	1.31	1.65	2.33	4.16	16.90
30	— 4	— 4	— 7	— 9	— 8	— 2	— 8	— 7	1.03	1.05	1.14	1.31	1.66	2.33	4.19	16.90

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

JUILLET

Heures	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1	87°5	76°4	64°8	52°9	40°9	29°2	18°8	13°7	1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.34	4.19	17.33
2	— 5	— 4	— 8	— 9	— 9	— 2	— 8	— 7	1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.34	4.19	17.33
3	— 5	— 5	— 8	53°0	41°0	— 3	19°0	— 9	1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.34	4.22	17.33
4	— 6	— 5	— 9	— 0	— 0	— 3	— 0	— 9	1.03	1.05	1.14	1.32	1.66	2.35	4.22	17.78
5	— 7	— 6	65°0	— 1	— 1	— 4	— 1	14°0	1.04	1.05	1.15	1.32	1.67	2.36	4.25	18.25
6	— 7	— 6	— 0	— 2	— 1	— 5	— 2	— 2	1.04	1.05	1.15	1.32	1.67	2.36	4.25	18.25
7	— 8	— 7	— 1	— 2	— 2	— 5	— 2	— 2	1.04	1.05	1.15	1.32	1.67	2.37	4.28	18.74
8	— 9	— 8	— 1	— 2	— 2	— 6	— 3	— 3	1.04	1.05	1.15	1 32	1.67	2.37	4.31	19.25
9	— 9	— 8	— 2	— 2	— 2	— 6	— 3	— 3	1.04	1.05	1.15	1.32	1.67	2.38	4.31	19.25
10	88°0	— 9	— 2	— 3	— 3	— 7	— 5	— 5	1.04	1.05	1.15	1.32	1.67	2.38	4.34	19.79
11	— 0	— 9	— 2	— 4	— 3	— 8	— 6	— 7	1.04	1.05	1.15	1.32	1.68	2.38	4.34	19.79
12	— 1	77°0	— 3	— 5	— 5	— 9	— 7	— 8	1.04	1.05	1.15	1.33	1.68	2.39	4.37	20.35
13	— 2	— 1	— 4	— 5	— 5	— 9	— 7	— 8	4.04	1.05	1.15	1.33	1.68	2.40	4.40	20.94
14	— 3	— 2	— 5	— 7	— 6	30°1	20°0	15°2	1.04	1.06	1.15	1.33	1.69	2.40	4.44	21.57
15	— 4	— 3	— 6	— 7	— 7	— 1	— 0	— 3	1.04	1.06	1.15	1.33	1.69	2.41	4.47	22.22
16	— 5	— 4	— 7	— 8	— 8	— 2	— 1	— 3	1.04	1.06	1.16	1.34	1.69	2.42	4.50	22.91
17	— 6	— 4	— 8	— 8	— 9	— 3	— 3	— 5	1.04	1.06	1.16	1.34	1.69	2.43	4.50	23.63
18	— 7	— 5	— 9	— 9	— 9	— 4	— 4	— 7	1.04	1.06	1.16	1.34	1.70	2.44	4.54	24.40
19	— 8	— 7	66°0	54°0	42°0	— 5	— 5	— 8	1.04	1.06	1.16	1.34	1.70	2.45	4.61	25.20
20	— 9	— 8	— 0	— 2	— 1	— 7	— 8	16°2	4.04	1.07	1.16	1.34	1.71	2.45	4.64	26.06
21	8 91	— 9	— 1	— 3	— 3	— 8	21°0	— 3	1.04	1.07	1.16	1.35	1.71	2·46	4.68	27.9 0
22	— 2	78°0	— 3	— 3	— 4	— 9	— 1	— 5	1.04	1.07	1.17	1.35	1.71	2.48	4.72	28.91
23	— 3	— 1	— 4	— 4	— 5	31°0	— 2	— 7	1.04	1.07	1.17	1.35	1.72	2.49	4.75	29.99
24	— 4	— 2	— 5	— 5	— 6	— 1	— 4	— 8	1.04	1.07	1.17	1.36	1.72	2.50	4.79	31.13
25	— 5	— 4	— 6	— 7	— 7	— 3	— 6	17°2	1.04	1.08	1.17	1.36	1.73	2.51	4.87	32.33
26	— 6	— 5	— 7	— 8	— 9	— 4	— 8	— 3	1.04	1.08	1.17	1.36	1.73	2.52	4.91	33.68
27	— 7	— 6	— 8	— 9	— 9	— 5	— 9	— 5	1.05	1.08	1.17	1.36	1.74	2.53	4.95	34.98
28	— 8	— 7	— 9	55°0	43°0	— 6	22°1	— 7	1.05	1 08	1.18	1.37	1.74	2.54	4.99	36.64
29	90°0	— 8	67°0	— 1	— 2	— 8	— 3	18°0	1.05	1.08	1.18	1.37	1.75	2.55	5.63	39.65
30		79°0	— 2	— 2	— 3	— 9	— 5	— 2	1.05	1.09	1.18	1.37	1.75	2.57	5.12	
31		— 1	— 3	— 3	— 4	32°1	— 6	— 3	1.05	1.09	1.18	1.37	1.75	2.58	5.16	

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

AOUT

HEURES	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Mid'	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1		79°2	67°4	55°5	43°6	32°3	22°9	18°7	1.05	1.09	1.18	1.38	1.76	2.59	5.21	
2		— 4	— 6	— 7	— 8	— 5	23°2	19°0	1.05	1.09	1.19	1.38	1.77	2.61	5.30	
3		— 6	— 8	— 8	— 9	— 6	— 3	— 2	1.06	1.09	1.19	1.39	1.77	2.63	5.40	
4		— 7	— 9	56°0	44°1	— 8	— 6	— 5	1.06	1.09	1.19	1.39	1.78	2.64	5.45	
5		— 9	68°0	— 0	— 2	33°0	— 7	— 7	1.06	1.09	1.19	1.39	1.78	2.65	5.55	
6		80°0	— 1	— 2	— 4	- 2	24°0	20°0	1.06	1.09	1.19	1.40	1.79	2.66	5.60	
7		— 2	— 3	— 4	— 6	— 4	— 3	— 3	1.06	1.10	1.20	1.40	1.80	2.68	5.70	
8		— 3	— 5	— 6	— 7	— 6	— 6	— 7	1.07	1.10	1.20	1.41	1.81	2.71	5.76	
9		— 5	— 6	— 7	— 9	— 7	— 7	— 9	1.07	1.10	1.20	1.41	1.81	2.72	5.87	
10		— 7	— 8	— 9	45°0	34°0	25,0	21°2	1.07	1.10	1.20	1.41	1.82	2.74	5.99	
11		— 8	— 9	57°0	— 2	— 1	— 2	— 3	1.07	1.10	1.20	1.42	1.83	2.75	6.05	
12		81°0	69°1	— 2	— 4	— 3	— 5	— 7	1.08	1.11	1.21	1.43	1.84	2.78	6.18	
13		— 1	— 2	— 3	— 6	— 6	— 8	22°0	1.08	1.11	1.21	1.43	1.84	2.79	6.24	
14		— 3	— 4	— 5	— 8	— 8	26°1	— 4	1.08	1.11	1.21	1.44	1.85	2.82	6.37	
15		— 5	— 6	— 7	— 9	35°0	— 4	— 7	1.09	1.11	1.22	1.44	1.87	2.84	6.51	
16		— 7	— 8	— 8	46°2	— 3	— 7	23°0	1.09	1.12	1.22	1.45	1.88	2.86	6.66	
17		— 9	70°0	58°1	— 4	— 5	27°0	— 4	1.09	1.12	1.22	1.45	1.89	2.90	6.81	
18		82°1	— 2	— 3	— 5	— 8	— 3	— 7	1.09	1.12	1.23	1.45	1.90	2.93	6.96	
19		— 3	— 3	— 4	— 7	— 9	— 4	— 8	1.09	1.12	1.23	1.46	1.90	2.95	7.13	
20		— 4	— 5	— 6	— 9	36°1	— 7	24°2	1.10	1.13	1.23	1.46	1.91	2.97	7.21	
21		— 7	— 8	— 8	47°1	— 5	28°1	— 7	1.10	1.13	1.24	1.47	1.92	3.02	7.48	
22		— 9	— 9	59°0	— 3	— 6	— 3	— 8	1.10	1.13	1.24	1.47	1.94	3.03	7.67	
23		83°1	71°1	— 2	— 7	37°0	— 7	25°3	1.11	1.14	1.25	1.48	1.95	3.07	7.87	
24		— 3	— 3	— 5	— 8	— 2	29°0	— 7	1.11	1.14	1.25	1.49	1.97	3.10	8.08	
25		— 4	— 4	— 6	48°0	— 4	— 2	— 8	1.11	1.14	1.26	1.49	1.98	3.11	8.19	
26		— 7	— 7	— 8	— 3	— 7	— 6	26°3	1.11	1.15	1.26	1.50	1.99	3.16	8.53	
27		— 9	— 9	60°1	— 4	38°0	— 9	— 7	1.12	1.15	1.27	1.51	2.00	3.19	8.71	
28		84°1	72°1	— 2	— 7	— 2	30°3	27°0	1.12	1.16	1.27	1.52	2.01	3.23	9.03	
29		— 3	— 3	— 5	49°0	— 5	— 6	— 3	1.12	1.16	1.27	1.52	2.03	3.26	9.30	
30		— 5	— 5	— 7	— 2	— 8	— 9	— 7	1.13	1.17	1.28	1.53	2.04	3.30	9.59	
31		— 7	— 7	— 9	— 4	39°0	31°2	28°0	1.13	1.17	1.28	1.53	2.05	3.34	9.90	

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

SEPTEMBRE

Heures	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1		84°9	72°9	61°1	49°6	39°3	31°5	28°3	1.13	1.17	1.29	1.54	2.06	3.38	10.22	
2		85°2	73°2	— 3	50°0	— 7	— 9	— 8	1.14	1.18	1.29	1.55	2.08	3.43	10.75	
3		— 3	— 3	— 6	— 1	— 9	32°2	29°2	1.14	1.18	1.30	1.55	2.09	3.45	10.94	
4		— 6	— 6	— 7	— 4	40°2	— 6	— 5	1.15	1.19	1.30	1.56	2.10	3.51	11.54	
5		— 8	— 8	62°0	— 6	— 5	— 9	— 8	1.15	1.19	1.31	1.57	2.12	3.55	11.97	
6		86°0	74°0	— 2	— 9	— 7	32°2	30°2	1.16	1.19	1.31	1.58	2.13	3.59	12.44	
7		— 2	— 2	— 4	51°0	41°1	— 6	— 7	1.16	1.20	1.32	1.59	2.14	3.63	12.94	
8		— 5	— 5	— 6	— 4	— 4	— 9	31°0	1.17	1.20	1.33	1.60	2.15	3.70	13.76	
9		— 7	— 7	— 9	— 7	— 6	34°3	— 2	1.17	1.21	1.33	1.61	2.18	3.74	14.37	
10		— 9	— 9	63°1	— 9	— 9	— 6	— 7	1.18	1.21	1.34	1.62	2.20	3.80	15.02	
11		87°1	75°1	— 4	52°1	42°3	35°0	32°2	1.18	1.22	1.35	1.62	2.23	3.84	15.72	
12		— 4	— 4	— 6	— 5	— 5	— 3	— 5	1.19	1.22	1.35	1.64	2.24	3.91	16.90	
13		— 6	— 6	— 9	— 7	— 8	— 7	— 8	1.19	1.23	1.36	1.65	2.26	3.97	17.78	
14		— 8	— 8	64°1	53°1	43°3	36°1	33°3	1.19	1.23	1.37	1.67	2.28	4.02	18.74	
15		88°1	76°1	— 4	— 3	— 5	— 4	— 7	1.20	4.24	1.38	1.67	2.30	4.10	20.35	
16		— 3	— 3	— 6	— 5	— 8	— 7	34°0	1.20	1.24	1.38	1.68	2.32	4.16	21.57	
17		— 5	— 5	— 8	— 8	44°1	37°1	— 3	1.21	1.25	1.39	1.69	2.34	2.22	22.91	
18		— 8	— 8	65°0	54°1	— 5	— 5	— 9	1.21	1.26	1.40	1.71	2.36	4.31	25.20	
19		89°0	77°0	— 4	— 4	— 7	— 8	35°2	1.22	1.26	1.41	1.72	2.40	4.37	26.96	
20		— 2	— 3	— 6	— 6	45°2	38°3	— 7	1.23	1.27	1.42	1.73	2.41	4.47	28.91	
21		— 5	— 5	— 8	55°0	— 4	— 6	36°0	1.23	1.28	1.43	1.74	2.43	4.54	32.33	
22		— 7	— 7	66°1	— 2	— 6	— 9	— 3	1.24	1.28	1.43	1.75	2.46	4.61	34.98	
23		90°0	78°0	— 4	— 6	46°1	39°4	— 8	1.25	1.29	1.44	1.77	2.49	4.72	39.65	
24			— 2	— 7	56°0	— 4	— 7	37°2	1.25	1.29	1.46	1.78	2.52	4.79		
25			— 5	— 9	— 1	— 8	40°2	— 7	1.26	1.30	1.46	1.79	2.54	4.91		
26			— 7	67°1	— 4	47°1	— 5	38°0	1.27	1.31	1.47	1.80	2.56	4.99		
27			— 9	— 4	— 7	— 4	— 8	— 3	1.27	1.31	1.47	1.81	2.59	5.08		
28			79°1	— 7	— 9	— 7	41°1	— 7	1.28	1.32	1.48	1.82	2.62	5.16		
29			— 4	— 8	57°2	48°1	— 6	39°2	1.29	1.33	1.50	1.84	2.63	5.30		
30			— 6	68°1	— 5	— 4	— 9	— 5	1.29	1.34	1.51	1.85	2.66	5.40		

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

OCTOBRE

Heures	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1			79°9	68°4	57°8	48°6	42°2	39°8	1.30	1.35	1.51	1.88	2.69	5.55		
2			80°1	— 7	58°1	49°1	— 7	40°3	1.31	1.36	1.52	1.89	2.73	5.65		
3			— 4	69°0	— 4	— 3	43°1	— 7	1.31	1.37	1.53	1.90	2.77	5.82		
4			— 6	— 2	— 6	— 8	— 5	41°2	1.32	1.38	1.54	1.91	2.79	5.93		
5			— 8	— 5	— 9	9	7	3	1.32	1.38	1.55	1.93	2.83	6.05		
6			81°1	— 7	59°3	50°3	44°2	— 8	1.34	1.39	1.56	1.96	2.85	6.24		
7			— 3	70°0	— 5	— 6	— 5	42°2	1.35	1.40	1.57	1.97	2.90	6.37		
8			— 6	— 2	— 8	51°1	45°0	— 7	1.36	1.41	1.59	1.99	2.93	6.58		
9			— 8	— 5	60°2	— 3	— 3	43°0	1.37	1.42	1.60	2.01	2.97	6.73		
10			82°1	— 8	— 4	— 6	— 6	— 3	1.37	1.43	1.61	2.02	3.02	6.96		
11			— 3	71°0	— 6	— 9	— 9	— 7	1.38	1.44	1.62	2.03	3.05	7.13		
12			— 5	— 3	— 9	52°3	46°4	44°2	1.39	1.45	1.63	2.05	3.10	7.30		
13			— 7	— 5	61°3	— 6	— 7	— 5	1.40	1.46	1.64	2.08	3.13	7.48		
14			83°0	— 8	— 5	— 9	47°0	— 8	1.41	1.46	1.66	2.09	3.18	7.77		
15			— 2	72°1	— 8	53°2	— 3	45°2	1.42	1.47	1.67	2.11	3.23	7.97		
16			— 4	— 3	62°1	— 6	— 8	— 7	1.43	1.49	1.69	2.12	3.26	8.19		
17			— 7	— 6	— 4	— 9	48°2	46°0	1.44	1.50	1.70	2.14	3 32	8.53		
18			— 9	— 8	— 7	54°2	— 5	— 3	1.45	1.51	1.71	2.16	3.36	8.77		
19			84°1	73°0	— 9	— 5	— 8	— 7	1.46	1.52	1.72	2.18	3.39	9.03		
20			— 4	— 3	63°2	— 9	49°3	47°2	1.47	1.53	1.74	2.21	3.45	9.44		
21			— 6	— 6	— 5	55°1	— 4	— 3	1.47	1.53	1.75	2.23	3.51	9.74		
22			— 8	— 8	— 9	— 5	— 9	— 8	1.49	1.55	1.76	2.26	3.55	10.06		
23			85°0	74°1	64°0	— 8	50°2	48°2	1.50	1.56	1.77	2.27	3.61	10.39		
24			— 3	— 3	— 4	56°1	— 6	— 5	1.51	1.57	1.79	2.30	3.65	10.94		
25			— 5	— 6	— 6	— 4	— 9	— 8	1.52	1.58	1.80	2.32	3.72	11.33		
26			— 7	— 8	— 9	— 7	51°2	49°2	1.53	1.59	1.81	2.35	3.77	11.75		
27			— 9	75°0	65°2	57°0	— 5	— 5	1.54	1.60	1.83	2.38	3.82	12.20		
28			86°1	— 3	— 4	— 3	— 9	— 8	1.54	1.62	1.84	2.40	3.89	12.68		
29			— 3	— 5	— 7	— 6	52°2	50°2	1.56	1.63	1.86	2.42	3.94	13.20		
30			— 5	— 7	— 9	— 9	— 5	— 5	1.57	1.64	1.88	2.44	3.99	13.76		
31			— 7	— 9	66°1	58°2	— 8	— 9	1.58	1.65	1.89	2.46	4.05	14.37		

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

NOVEMBRE

	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
HEURES	5	6	7	8	9	10	11	Midi	Midi	11	10	9	8	7	6	5
	19	18	17	16	15	14	13	vrai	vrai	13	14	15	16	17	18	19
Jours																
1			87°0	76°2	66°5	58°5	53°1	51°2	1.59	1.67	1.91	2.50	4.13	15.36		
2			— 2	— 4	— 7	— 8	— 5	— 5	1.60	1.65	1.92	2.52	4.19	16.10		
3			— 3	— 7	— 9	59°0	— 8	— 8	1.61	1.69	1.94	2.54	4.28	16.49		
4			— 5	— 9	67°2	— 3	54°1	52°2	1.63	1.71	1.96	2.57	4.34	17 33		
5			— 7	77°1	— 4	— 5	— 3	— 3	1.63	1.71	1.97	2.59	4.40	18.25		
6			— 9	— 3	— 6	— 8	— 6	— 7	1.65	1.73	1.99	2.61	4.47	19.25		
7			88°1	— 5	— 9	60°1	— 9	53°0	1.66	1.74	2.00	2.64	4.54	20.35		
8			— 3	— 7	68°1	— 4	55°2	— 3	1.67	1.75	2.02	2.66	4.61	21.57		
9			— 5	— 9	— 4	— 7	— 6	— 7	1.69	1.77	2.04	2.69	4.68	22.91		
10			— 7	78°1	— 6	— 8	— 7	— 8	1.70	1.77	2.05	2.72	4.75	24.40		
11			— 9	— 3	— 8	61°1	56°0	54°2	1.71	1 78	2.06	2.74	4.83	26.06		
12			89°1	— 5	69°0	— 3	— 2	— 3	1.71	1.79	2.08	2.77	4.91	27.91		
13			— 2	— 7	— 2	— 6	— 5	— 7	1.73	1.80	2.09	2.79	4.99	28.91		
14			— 4	— 9	— 5	— 9	— 8	55°0	1.74	1.82	2.11	2.83	5.08	31.13		
15			— 6	79°0	— 6	62°0	57°0	— 2	1.75	1.83	2.12	2.84	5.12	33.61		
16			— 7	— 3	— 9	— 3	— 3	— 5	1.76	1.84	2.13	2.88	5.26	34.98		
17			— 9	— 4	70°0	— 5	— 5	— 7	1.77	1.85	2.15	2.90	5.30	37.99		
18			90°0	— 6	— 3	— 7	— 8	56°0	1.78	1.88	2.16	2.95	5.40	39.65		
19				— 8	— 4	— 9	58°0	— 2	1.79	1.88	2.18	2.96	5.50			
20				80°0	— 7	63°2	— 3	— 5	1.80	1.90	2.21	3.00	5.60			
21				— 1	— 8	— 4	— 5	— 7	1.81	1.91	2.23	3·02	5.65			
22				— 3	71°0	— 5	— 6	— 8	1.82	1.91	2.23	3.05	5.76			
23				— 4	— 1	— 7	— 9	57°2	1.84	1 93	2.25	3.07	5.82			
24				— 5	— 3	— 9	59°1	— 3	1.84	1.94	2.26	3.10	5.87			
25				7	5	64°1	— 3	— 5	1.85	1.96	2.28	3.13	5.99			
26				— 8	— 6	— 3	— 4	— 7	1.87	1.96	2.30	3.14	6.05			
27				81°0	— 8	— 4	— 6	— 8	1.88	1.98	2.30	3.18	6.18			
28				— 1	— 9	— 6	— 9	58°2	1.89	1.99	2.32	3.19	6.24			
29				— 2	72°1	— 8	60°1	— 4	1.90	2.00	2.34	3.23	6.31			
30				— 3	— 2	— 9	— 1	— 4	1.90	2.00	2.35	3.25	6.37			

TABLE 1

Distances zénithales et masses atmosphériques à la latitude de l'Ariana $\varphi = 36° 49'$ N

DÉCEMBRE

	Distances zénithales Z								Masses atmosphériques m							
HEURES	5 19	6 18	7 17	8 16	9 15	10 14	11 13	Midi vrai	Midi vrai	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
Jours																
1				81°5	72°3	65°1	60°4	58°7	1.92	2.02	2.37	3.26	6.51			
2				— 5	— 4	— 2	— 4	— 7	1.92	2.02	2.38	4.28	6.51			
3				— 7	— 6	— 3	— 5	— 8	1·92	2.03	2.39	3.32	6.66			
4				— 8	— 7	— 4	— 7	59°0	1.94	2.04	2.40	4.34	6.73			
5				— 9	— 8	— 6	— 9	— 2	1.95	2.05	2.41	4.36	6.81			
6				82°0	— 9	— 7	61°0	— 3	1.96	2.06	2.42	3.38	6.88			
7				— 0	73°0	— 8	— 1	— 3	1.96	2.06	2.43	3.49	6.88			
8				— 1	— 1	— 9	— 2	— 5	1.97	2.07	2.44	3.41	6.96			
9				— 2	— 1	66°0	— 3	— 7	1.98	2.08	2.45	3.41	7.04			
10				— 3	— 2	— 1	— 4	— 7	1.98	2.08	2.46	3.43	7.13			
11				— 3	— 3	— 1	— 5	— 8	1.99	2.09	2.46	3.45	7.13			
12				— 4	— 4	— 2	— 6	— 8	1.99	2.09	2.47	3.47	7.21			
13				— 4	— 4	— 2	— 6	— 8	1.99	2.09	2.47	3.47	7.21			
14				— 5	— 5	— 3	— 7	60°0	2.00	2.10	2.48	3.49	7.30			
15				— 5	— 5	— 4	— 8	— 1	2.00	2.11	2.49	3.49	7.30			
16				— 5	— 5	— 4	— 8	— 1	2.00	2.11	2.49	3.49	7.30			
17				— 6	— 6	— 5	— 9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
18				— 6	— 6	— 5	— 9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
19				— 6	— 6	— 5	— 9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
20				— 6	— 6	— 5	— 9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
21				— 7	— 7	— 6	62°0	— 3	2.01	2.12	2.51	3.53	7.48			
22				— 7	— 7	— 6	— 0	— 3	2.01	2.12	2.51	3.53	7.48			
23				— 7	— 7	— 6	— 0	— 3	2.01	2.12	2.51	3.53	7.48			
24				— 6	— 6	— 5	61°9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
25				— 6	— 6	— 5	— 9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
26				— 6	— 6	— 5	— 9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
27				— 6	— 6	— 5	— 9	— 2	2.01	2.11	2.50	3.51	7.39			
28				— 5	— 6	— 4	— 8	— 1	2.00	2.11	2.49	3.51	7.30			
29				— 5	— 6	— 4	— 8	— 1	2.00	2.11	2.49	3.51	7.30			
30				— 5	— 5	— 3	— 7	— 0	2.00	2.10	2.48	3.49	7.30			
31				— 4	— 4	— 2	— 6	59°8	1.99	2.09	2.47	3.47	7.21			

TABLE 2

Masses atmosphériques en fonction des hauteurs zénithales selon la Table de Bemporad

Z	Dixièmes de Degrés									
Degrés	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0 à 5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
7	1.01	1.01	1 01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
8	1.01	1.01	1.01	1.01	1·01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02
9	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
10	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
11	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
12	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
13	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
14	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
15	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
16	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
17	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
18	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
19	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
20	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
21	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
22	1.08	1.08	1.68	1.08	1 08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
23	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.69	1.09	1.09	1.09	1.09
24	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
25	1.10	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
26	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
27	4.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
28	1.13	1.14	1.13	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
29	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
30	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.17
31	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18
32	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	4.19	1.19	1.19	1.19	1.19
33	1.19	1.19	1.19	1.19	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
34	1.20	1.20	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21
35	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.23	1.23	1.23
36	1.23	1.23	1.23	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25
37	1.25	1.25	1.25	1.25	1.26	1.26	1 26	1.26	1.26	1.26
38	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.28	1.28	1.28	1.28
39	1.28	1.28	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30
40	1.30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32
41	1.32	1.32	1.32	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33	1.34	1.34
42	1.34	1.34	1.35	1 35	1 35	1.35	1.36	1.36	1.36	1.36
43	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.38	1.38	1.38	1.38	1.39
44	1.39	1 39	1.39	1.40	1.40	1.40	1.40	1.41	1.41	1.41
45	1.41	1.42	1.42	1.42	1.43	1.43	1.43	1.43	1.44	1.44

TABLE 2 *(suite)*

Z	Dixièmes de Degrés									
Degrés	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
46	1.44	1.44	1.45	1.45	1.45	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
47	1.46	1.47	1.47	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49
48	1.49	1.50	1.50	1.50	1.51	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52
49	1.52	1.53	1.53	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54	1.54	1.55
50	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56	1.57	1.57	1.57	1.58	1.58
51	1.59	1.59	1.59	1.60	1.60	1.60	1.61	1.61	1.61	1.62
52	4.62	1.62	1.63	1.63	1.64	1.64	1.64	1.65	1.65	1.66
53	1.66	1.67	1.67	1.67	1.68	1.68	1.69	1.69	1.69	1.70
54	1.70	1.71	1.71	1.71	1.72	1.72	1.73	1.73	1.73	1.74
55	1.74	1.75	1.75	1.75	1.76	1.76	1.77	1.77	1.77	1.78
56	1.78	1.79	1.79	1.79	1.80	1.80	1.81	1.81	1.82	1.82
57	1.83	1.83	1.84	1.84	1.85	1.85	1.86	1.87	1.88	1.88
58	1.88	1.89	1.89	1.90	1.90	1.91	1.91	1.92	1.92	1.93
59	1.94	1.94	1.95	1.96	1.96	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99
60	2.00	2 00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05	2.05
61	2.06	2.05	2.07	2.08	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.11
62	2.12	2.12	2.13	2.13	2.14	2.15	2.15	2.16	2.17	2.18
63	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23	2.23	2.24	2.25	2.26	2.26
64	2.27	2.28	2.29	2.30	2.30	2.31	2.32	2.33	2.34	2.35
65	2.36	2.37	2.38	2.39	2.40	2.40	2.41	2.42	2.43	2.44
66	2.45	2.46	2.47	2.48	2.49	2.50	2.51	2.52	2.53	2.54
67	2.55	2.56	2.57	2.58	2.59	2.60	2.61	2.62	2.63	2.64
68	2.65	2.66	2.67	2.68	2.69	2.71	2.72	2.73	2.74	2.75
69	2.77	2.78	2.79	2.80	2.82	2.83	2.84	2.85	2.86	2.88
70	2.90	2.91	2.93	2.95	2.96	2.97	2.98	3.00	3.02	3.03
71	3.05	3.07	3.08	3.10	3.11	3.13	3.14	3.16	3.18	3.19
72	3.21	3.23	3.25	3.26	3.28	3.30	3.32	3.34	3.36	3.38
73	3.39	3.41	3.43	3.45	3.47	3.49	3.51	3.53	3.55	3.57
74	3.59	3.61	3.63	3.65	3.67	3.70	3.72	3.74	3.77	3.80
75	3.82	3.84	3.86	3.89	3.91	3.94	3.97	3.99	4.02	4.05
76	4.07	4.10	4.13	4.16	4.19	4.22	4.25	4.28	4.31	4.34
77	4.37	4.40	4.44	4.47	4.50	4.54	4.57	4.61	4.64	4.68
78	4.72	4.75	4.79	4.83	4.87	4.91	4.95	4.99	5.03	5.08
79	5.12	5.16	5.21	5.26	5.30	5.35	5.40	5.45	5.50	5.55
80	5.60	5.65	5.70	5.76	5.82	5.87	5.93	5.99	6.05	6.11
81	6.18	6.24	6.31	6.37	6.44	6.51	6.58	6.66	6.73	6.81
82	6.88	6.96	7.04	7.13	7.21	7.30	7.39	7.48	7.57	7.67
83	7.77	7.87	7.97	8.08	8.19	8.30	8.41	8.53	8.65	8.77
84	8.90	9.03	9.16	9.30	9.44	9.59	9.74	9.90	10.06	10.22
85	10.39	10.57	10.75	10.94	11.17	11.33	11.54	11.75	11.97	12.20
86	12.44	12.68	12.94	13.20	13.48	13.76	14.06	14.37	14.69	15.02
87	15.36	15.72	16.10	16.49	16.90	17.33	17.78	18.25	18.74	19.25
88	19.79	20.35	20.94	21.57	22.22	22.91	23.63	24.40	25.20	26.06
89	26.96	27.90	28.91	29.99	31.13	32.33	33.61	34.98	36.44	37.99
90	39.65	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TABLE 3

HEURE DU PASSAGE DU SOLEIL AU MÉRIDIEN DE TUNIS

(Temps civil du méridien 10° E. Gr. pour l'année 1926)

N. B. — Ajouter 12 h. à chaque lecture

TABLE 4

HEURES DU LEVER ET DU COUCHER DU SOLEIL A TUNIS

(Temps civil du méridien 10° E. Gr. pour l'année 1926)

TABLE 3. — HEURE DU PASSAGE D

(Temps civil du méridi

DATE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN
	min. sec.	min. sec.	min. sec.	min. sec.	min. sec.	min. sec.
1	22 40	32 53	31 49	23 20	16 20	16 46
2	23 8	33 1	31 37	23 2	16 12	16 55
3	23 36	33 8	31 25	22 44	16 5	17 4
4	24 3	33 14	31 12	22 26	15 59	17 14
5	24 30	33 20	30 58	22 8	15 53	17 24
6	24 57	33 24	30 45	21 51	15 48	17 35
7	25 24	33 28	30 31	21 34	15 43	17 42
8	25 50	33 31	30 16	21 17	15 39	17 57
9	26 15	33 34	30 1	21	15 35	18 8
10	26 40	33 35	29 46	20 43	15 32	18 20
11	27 4	33 36	29 31	20 27	15 30	18 32
12	27 28	33 36	29 15	20 11	15 28	18 44
13	27 51	33 36	28 59	19 56	15 27	18 57
14	28 14	33 34	28 42	19 40	15 27	19 9
15	28 36	33 32	28 26	19 25	15 27	19 22
16	28 57	33 29	38 9	19 11	15 27	19 35
17	29 17	33 25	27 52	18 56	15 28	19 47
18	29 37	33 21	27 34	18 42	15 30	20
19	29 56	33 16	27 17	18 29	15 32	20 13
20	30 15	33 10	26 59	18 16	15 35	20 26
21	30 32	33 3	26 41	18 3	15 38	20 39
22	30 49	32 56	26 23	17 50	15 42	20 52
23	31 5	32 48	26 5	17 38	15 46	21 5
24	31 20	32 40	25 47	17 27	15 51	21 18
25	31 35	32 31	25 28	17 16	15 56	21 31
26	31 48	32 21	25 10	17 5	16 2	21 43
27	32 1	32 11	24 52	16 55	16 8	21 56
28	32 13	32	24 33	16 45	16 15	22 8
29	32 24		24 15	16 36	16 22	22 30
30	32 35		23 56	16 28	16 29	22 32
31	32 44		23 38		16 37	

EIL AU MÉRIDIEN DE TUNIS

É. Gr. pour l'année 1926)

UILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
nin. sec.	min. sec.	min. sec.	min. sec.	min. sec.	min. sec.
22 44	25 26	19 21	9 6	2 53	8 6
22 56	25 22	19 2	8 47	2 52	8 29
23 7	25 18	18 43	8 28	2 51	8 52
23 18	25 13	18 24	8 9	2 51	9 16
23 29	25 8	18 4	7 51	2 52	9 40
23 40	25 2	17 45	7 33	2 54	10 5
23 50	24 56	17 25	7 16	2 57	10 31
24	24 49	17 4	6 59	3	10 57
24 9	24 41	16 44	6 42	3 5	11 23
24 18	24 33	16 23	6 26	3 10	11 50
24 27	24 24	16 3	6 10	3 16	12 17
24 35	24 15	15 42	5 55	3 22	12 45
24 43	24 5	15 21	5 40	3 30	13 13
24 50	23 54	15 10	5 25	3 39	13 42
24 57	23 43	14 38	5 11	3 48	14 10
25 3	23 32	14 17	4 58	3 58	14 39
25 9	23 20	13 56	4 45	4 9	15 8
25 14	23 7	13 34	4 33	4 21	15 38
25 18	22 53	13 13	4 22	4 33	16 7
25 22	22 40	12 52	4 11	4 47	16 37
25 26	22 25	12 30	4	5 1	17 6
25 29	22 11	12 9	3 51	5 16	17 36
25 31	21 56	11 48	3 42	5 32	18 6
25 33	21 40	11 27	3 33	5 48	18 36
25 34	21 24	11 6	3 26	6 6	19 6
25 35	21 7	10 46	3 19	6 24	19 36
25 35	20 51	10 25	3 13	6 43	20 5
25 34	20 33	10 5	3 7	7 3	20 35
25 33	20 16	9 45	3 2	7 23	21 4
25 31	19 58	9 25	2 59	7 44	21 34
25 29	19 40		2 56		22 3

TABLE 4. — HEURES DU LEVER

(Temps civil du méridi

DATES	JANVIER		FÉVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN	
	lever	coucher	lever	coucher	lever	coucher	lever	coucher	lever	coucher	lever	couch
	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h
1	7 35	17 12	7 24	17 43	6 53	18 12	6 9	18 40	5 28	19 6	5 4	19 3
2	7 35	17 13	7 23	17 43	6 52	18 13	6 7	18 40	5 27	19 7	5 3	19 3
3	7 35	17 14	7 23	17 45	6 50	18 14	6 5	18 42	5 26	19 8	5 3	19 3
4	7 35	17 14	7 21	17 45	6 49	18 15	6 4	18 42	5 24	19 9	5 3	19 3
5	7 35	17 15	7 21	17 47	6 47	18 16	6 2	18 41	5 23	19 10	5 2	19 3
6	7 35	17 16	7 20	17 48	6 46	18 16	6 1	18 44	5 22	19 11	5 2	19 3
7	7 35	17 17	7 19	17 50	6 44	18 18	6	18 45	5 21	19 12	5 2	19 3
8	7 35	17 18	7 17	17 51	6 43	18 19	5 58	18 46	5 20	19 13	5 2	19 3
9	7 34	17 19	7 17	17 52	6 42	18 20	5 57	18 47	5 19	19 14	5 1	19 3
10	7 34	17 19	7 15	17 53	6 40	18 21	5 55	18 48	5 18	19 14	5 1	19 3
11	7 34	17 21	7 14	17 54	6 39	18 21	5 54	18 49	5 17	19 15	5 1	19 3
12	7 34	17 22	7 14	17 55	6 38	18 22	5 52	18 50	5 16	19 17	5 1	19 3
13	7 34	17 23	7 12	17 56	6 36	18 23	5 50	18 51	5 15	19 17	5 1	19 3
14	7 34	17 24	7 11	17 57	6 34	18 24	5 49	18 52	5 14	19 18	5 1	19 3
15	7 34	17 24	7 10	17 58	6 33	18 25	5 48	18 53	5 14	19 19	5 1	19 3
16	7 34	17 26	7 9	18	6 32	18 26	5 47	18 53	5 13	19 19	5 1	19 3
17	7 33	17 26	7 7	18 1	6 30	18 27	5 45	18 54	5 12	19 20	5 1	19 3
18	7 33	17 27	7 6	18 2	6 29	18 28	5 44	18 55	5 12	19 21	5 1	19 3
19	7 32	17 28	7 6	18 3	6 27	18 30	5 42	18 57	5 10	19 22	5 2	19 3
20	7 32	17 29	7 5	18 3	6 25	18 30	5 41	18 57	5 9	19 23	5 2	19 4
21	7 31	17 30	7 3	18 4	6 24	18 31	5 39	18 58	5 9	19 24	5 2	19 4
22	7 31	17 32	7 2	18 4	6 23	18 31	5 38	18 59	5 8	19 24	5 3	19 4
23	7 30	17 32	7 1	18 5	6 22	18 32	5 37	19	5 8	19 25	5 3	19 4
24	7 30	17 34	7	18 7	6 20	18 33	5 36	19	5 7	19 25	5 3	19 4
25	7 30	17 35	6 58	18 8	6 18	18 34	5 35	19 2	5 7	19 27	5 3	19 4
26	7 29	17 36	6 58	18 9	6 17	18 35	5 34	19 2	5 6	19 27	5 4	19 4
27	7 29	17 38	6 56	18 10	6 16	18 36	5 32	19 3	5 6	19 28	5 4	19 4
28	7 28	17 38	6 55	18 11	6 14	18 36	5 31	19 4	5 6	19 29	5 4	19 4
29	7 27	17 40			6 13	18 37	5 30	19 4	5 5	19 29	5 4	19 4
30	7 26	17 40			6 12	18 38	5 30	19 4	5 5	19 29	5 4	19 4
31	7 25	17 42			6 10	18 38			5 5	19 30		

COUCHER DU SOLEIL A TUNIS

E. Gr. pour l'année 1926)

JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		OCTOBRE		NOVEMBRE		DÉCEMBRE	
lever	coucher	lever	coucher	lever	coucher	lever	coucher	lever	coucher	lever	coucher
m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m
4	19 42	5 25	19 26	5 50	18 48	6 15	18 4	6 44	17 22	7 13	17 2
5	19 42	5 26	19 25	5 51	18 47	6 15	18 2	6 45	17 22	7 16	17 2
5	19 41	5 27	19 24	5 52	18 45	6 16	18 1	6 46	17 20	7 17	17 2
6	19 41	5 28	19 23	5 53	18 44	6 17	18	6 47	17 19	7 18	17 2
7	19 41	5 28	19 22	5 54	18 42	6 18	17 58	6 48	17 18	7 19	17 2
8	19 40	5 29	19 21	5 55	18 41	6 19	17 57	6 49	17 17	7 20	17 2
8	19 40	5 30	19 20	5 56	18 40	6 20	17 55	6 50	17 17	7 20	17 2
8	19 40	5 30	19 19	5 56	18 38	6 21	17 53	6 51	17 15	7 21	17 2
9	19 40	5 32	19 18	5 58	18 36	6 22	17 52	6 53	17 15	7 22	17 2
10	19 40	5 32	19 17	5 58	18 35	6 22	17 50	6 53	17 14	7 22	17 2
10	19 39	5 33	19 16	5 58	18 34	6 24	17 49	6 54	17 13	7 23	17 3
11	19 39	5 34	19 15	6	18 32	6 24	17 47	6 55	17 11	7 23	17 3
12	19 38	5 35	19 14	6	18 30	6 26	17 46	6 57	17 11	7 24	17 4
12	19 38	5 36	19 13	6 2	18 28	6 26	17 45	6 57	17 10	7 24	17 4
13	19 37	5 36	19 11	6 2	18 27	6 27	17 43	6 59	17 9	7 25	17 4
13	19 37	5 38	19 10	6 3	18 26	6 28	17 41	7	17 9	7 26	17 5
14	19 37	5 39	19 9	6 4	18 24	6 29	17 40	7 1	17 8	7 26	17 6
15	19 36	5 39	19 8	6 4	18 23	6 31	17 39	7 2	17 7	7 26	17 6
16	19 36	5 40	19 6	6 6	18 21	6 31	17 38	7 3	17 7	7 27	17 6
16	19 36	5 41	19 5	6 6	18 20	6 33	17 37	7 4	17 6	7 28	17 7
16	19 35	5 42	19 4	6 7	18 18	6 33	17 35	7 5	17 5	7 28	17 7
17	19 33	5 42	19 2	6 8	18 16	6 34	17 34	7 7	17 5	7 29	17 8
19	19 33	5 43	19 1	6 9	18 15	6 35	17 33	7 7	17 5	7 29	17 8
19	19 32	5 44	19	6 10	18 14	6 36	17 32	7 8	17 4	7 29	17 9
20	19 32	5 44	18 58	6 10	18 13	6 37	17 31	7 9	17 4	7 30	17 10
20	19 31	5 46	18 57	6 11	18 11	6 37	17 30	7 10	17 4	7 30	17 10
22	19 30	5 46	18 55	6 12	18 9	6 39	17 29	7 11	17 3	7 31	17 11
22	19 29	5 48	18 53	6 14	18 8	6 39	17 28	7 12	17 3	7 32	17 11
23	19 28	5 49	18 52	6 14	18 6	6 40	17 26	7 13	17 3	7 32	17 11
24	19 28	5 49	18 51	6 14	18 5	6 42	17 25	7 13	17 3	7 32	17 12
25	19 27	5 50	18 50			6 42	17 24			7 32	17 13

J.-V. AMIABLE

VALEURS DE L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT SOLAIRE

OBTENUES, EN 1924, 1925, 1926 ET 1927, A L'ARIANA

pour l'Incidence normale

I. FORMULES ET TABLEAUX DE CALCUL

a) *Utilisation des diagrammes. — Méthodes de calcul.*

Les diagrammes fournis par les pyrhéliographes Gorczynski-Moll-Richard sont intégrés au planimètre enregistreur perfectionné de Richard et donnent en millimètres carrés la surface inscrite par le style des enregistreurs.

Cette surface permet de calculer les quantités de calories reçues par les piles thermo-électriques; cette transformation est facilitée par des tables calculées pour les diverses sensibilités des appareils de mesure et les vitesses de rotation des enregistreurs de Richard.

Sur un diagramme, les lignes courbes (ordonnées), placées dans le sens de la hauteur de la feuille, indiquent les intervalles de temps, alors que les lignes droites horizontales (abscisses) fournissent la grandeur de la mesure à un moment donné.

A chaque instant, le nombre de degrés de l'échelle (0 à 100 pour les graphiques qui nous occupent) fournit la valeur de cette mesure; ce chiffre, multiplié par un coefficient approprié, donne en calories-grammes, pour une minute, par centimètre carré, la quantité de radiation au moment considéré.

b) *Coefficients des pyrhéliographes thermo-électriques.*

Les coefficients des pyrhéliographes thermo-électriques en fonction à l'Ariana ont été calculés par les soins de M. Gorczynski à l'aide d'un pyrhéliomètre à compensation électrique d'Angström et d'autres instruments de contrôle. Les méthodes d'étalonnage employées à l'Ariana étant décrites en détail par M. Gorczynski dans un mémoire spécial publié dans ces Annales (1), nous nous bornons à indiquer les valeurs finales des co-

(1) Cf. Ladislas Gorczynski : « Annales du Service Botanique » 1928. Ce fascicule (p. 39) : « Quelques résultats d'étalonnage des tubes pyrhéliométriques, des pyrhéliographes et des solarigraphes ».

efficients appliqués aux pyrhéliographes en fonction au Service Botanique de Tunisie.

c) *Calcul des surfaces intégrées.*

Pour les coefficients moyens des diverses piles, variables naturellement avec les résistances des millivoltmètres employés, on a adopté les valeurs suivantes :

1 — 0.028 pour le pyrhéliographe normal de sensibilité 50 mv. en fonction de juillet 1924 à mai 1925.

2 — 0.0194 pour le pyrhéliographe normal de sensibilité 40 mv. utilisé depuis mai 1925.

3 — 0.011 pour le pyrhéliographe de sensibilité 20 mv. fonctionnant avec les filtres rouge et infra-rouge.

4 — 0.010 pour le pyrhéliographe de sensibilité 25 mv. fonctionnant avec les filtres bleu et ultra-violet.

Ces valeurs moyennes des coefficients nous ont servi pour convertir en calories les surfaces intégrées obtenues à l'aide du planimètre de Richard.

Si nous appelons :

Σ = somme de radiations en gr. cal. cm² pour le temps considéré,

S = surface planimétrée dans le temps considéré,

K = coefficient établi ci-dessus,

nous avons :

$$c \text{ (coefficient de surface)} = K. \frac{t}{l}$$

$$\text{où } \frac{t}{l} = \frac{\text{temps unitaire soit 60 minutes}}{\text{longueur correspondante de l'abscisse}} : \text{Valeur constante}$$

pour chaque appareil, c dépendant évidemment de l'échelle de la courbe chronométrée et de la vitesse du millivoltmètre enregistreur.

Nous aurons :

$$\Sigma = c. S^{m/m^2}.$$

Les diverses courbes ont été obtenues au début aux allures suivantes données par les enregistreurs livrés par la Maison Richard : une révolution du cylindre s'effectuant en 13 heures, 18 heures ou 26 heures, soit, par heure de révolution, 8, 6 ou 4 divisions de l'abscisse correspondant à des longueurs en millimètres de 31, 23 et $15^{m}/^{m}5$.

Pour simplifier, tous les enregistreurs ont été ensuite pourvus de la même vitesse de rotation : 6 divisions à l'heure, permettant d'ailleurs la meilleure utilisation de la feuille.

d) *Valeurs en calories des degrés de l'échelle du millivoltmètre.*

L'étalonnage des pyrhéliomètres ne peut donner un coefficient unique pour toutes les valeurs de la radiation au cours de la journée par suite : tout d'abord, de la non proportionnalité exacte des déviations de l'aiguille du millivoltmètre en fonction du courant thermo-électrique (phénomènes d'hystérésis du champ magnétique), ensuite de certaines influences secondaires, telles que l'inertie de la plume. A chaque division du millivoltmè-

tre enregistreur, il est nécessaire d'affecter un coefficient spécial; les coefficients suivants, correspondant aux divisions de l'échelle Richard :

Divisions	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Coefficients (1)	0.0205	0.0202	0.0199	0.0196	0.0195	0.0194	0.0193	0.0192	0.0191
Coefficients (2)	0.0296	0.0292	0.0288	0.0284	0.0281	0.0279	0.0278	0.0277	0.0275

ont permis de dresser les tableaux A et B pour la pile fonctionnant au Service Botanique de juillet 1924 à mai 1925 avec un premier millivoltmètre et de mai 1925 à fin 1927 avec un autre millivoltmètre de résistance différente.

Ces tableaux expriment également en calories-gr. cm² minute pour la surface normalement exposée aux rayons solaires la valeur des différentes déviations de l'aiguille du millivoltmètre sur les courbes d'enregistrement (voir pp. 130-131).

c) *Valeur moyenne permettant d'effectuer le calcul de la totalisation.*

Nos pyrhéliographes ne pouvant nous donner des indications comparables pour toutes les heures de la journée, il y aurait lieu d'appliquer le coefficient de chaque division à la surface couverte par l'aiguille entre les ordonnées de deux divisions consécutives. Cette méthode permettant de tenir compte du poids de chaque coefficient serait d'une exactitude remarquable, mais pour la pratique d'une complexité beaucoup trop grande. Il est plus simple de chercher une valeur moyenne de ce coefficient qui, appliquée à la surface couverte en une journée, permette d'effectuer la totalisation en calories comme il est dit précédemment (voir paragraphe c).

Nous donnons ci-dessous une méthode de calcul de cette valeur moyenne et le degré d'exactitude que l'on peut attribuer à une telle valeur, degré qui en justifie l'emploi.

f) *Méthode de calcul de la valeur moyenne.*

Nous établirons cette valeur moyenne en tenant compte du poids des divers coefficients, c'est-à-dire de la durée pendant laquelle ils sont applicables, multipliée par leur valeur propre. L'exemple concret ci-dessous (tableau c, p. 133), relatif à la journée du 5 octobre 1926, et le graphique 1 (p. 132) correspondant feront mieux comprendre le mode préparatoire.

Ce coefficient moyen *Km* servira à établir le coefficient de surface dans la formule :

$$\Sigma = c.\ S\,\mathrm{m/m^2}$$ donnée d'autre part

g) *Critique de la valeur moyenne.*

Pour vérifier si cette valeur moyenne est applicable aux totalisations d'une année entière, nous avons calculé une série de tableaux analogues

(1) Mai 1925 à décembre 1927 (mv = 0,40).
(2) Juillet 1924 à mai 1925 (mv = 0,50).

TABLEAU

Valeurs de K pour le pyrhéliographe

	Coefficients applicables aux diverses Divisions									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.0000	0.0300	0.0300	0.0300	0.0299	0.0299	0.0298	0.0297	0.0297	0.0297
10	296	296	296	295	295	294	294	293	293	293
20	292	292	291	291	290	290	290	289	289	288
30	288	287	287	287	286	286	285	284	284	284
40	284	283	283	283	282	282	282	281	281	281
50	281	280	280	280	280	280	280	280	280	280
60	279	279	279	279	279	279	278	278	278	278
70	278	277	277	277	277	277	277	277	277	277
80	277	277	277	277	277	276	276	276	276	276
90	275	275	275	275	275	274	274	274	274	274
100	274									

TABLEAU

Valeurs de K pour le pyrhéliographe

	Coefficients applicables aux diverses Divisions									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.0000	0.0208	0.0208	0.0208	0.0207	0.0207	0.0207	0.0206	0.0206	0.0206
10	205	205	205	204	204	204	204	203	203	203
20	202	202	202	202	201	201	201	200	200	200
30	199	199	199	199	198	198	198	197	197	197
40	196	196	196	196	195	195	195	195	195	195
50	195	194	194	194	194	194	194	194	194	194
60	194	193	193	193	193	193	193	193	193	193
70	193	192	192	192	192	192	192	192	192	192
80	192	192	192	192	192	191	191	191	191	191
90	191	191	191	191	191	190	190	190	190	190
100	190									

illet 1924-15 mai 1925 (S = 0 — 40 mv)

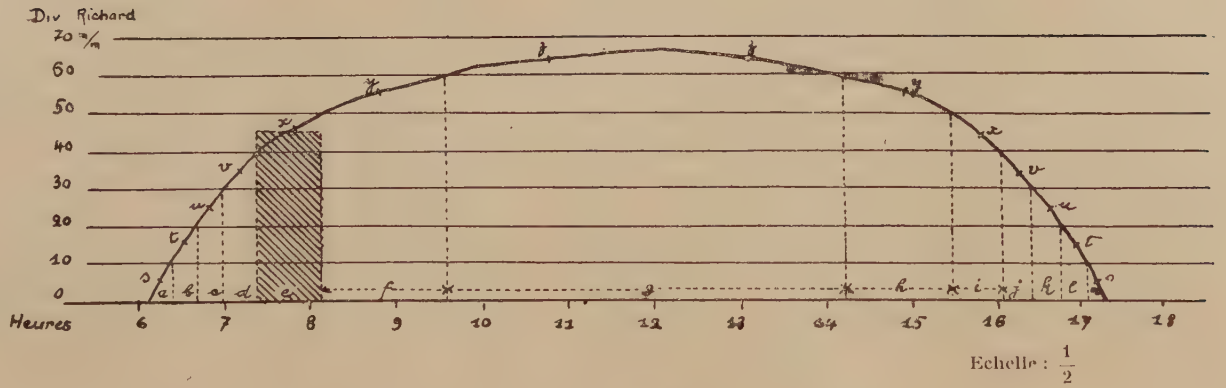
Valeurs en Calories des diverses Divisions									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27
30	33	36	38	41	44	47	50	53	55
58	61	64	67	70	73	75	78	81	84
86	89	92	95	97	1.00	1.03	1.05	1.08	1.11
1.14	1.16	1.19	1.22	1.24	1.27	1.30	1.32	1.35	1.38
1.41	1.43	1.46	1.48	1.51	1.54	1.57	1.60	1.62	1.65
1.67	1.70	1.73	1.76	1.79	1.81	1.83	1.86	1.89	1.92
1.95	1.97	1.99	2.02	2.05	2.08	2.11	2.13	2.16	2.19
2.22	2.24	2.27	2.30	2.33	2.35	2.37	2.40	2.43	2.46
2.48	2.50	2.53	2.56	2.59	2.60	2.63	2.66	2.69	2.71
2.74									

epuis le 15 mai 1925 (S = 0 — 50 mv)

Valeurs en Calories des diverses Divisions									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.19
21	23	25	27	29	31	33	35	37	39
40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
60	62	64	56	67	69	71	73	75	77
78	80	82	84	86	88	90	92	94	96
98	99	1.01	1.03	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13	1.14
1.16	1.18	1.20	1.22	1.24	1.25	1.27	1.29	1.31	1.33
1.35	1.36	1.38	1.40	1.42	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52
1.54	1.56	1.57	1.59	1.61	1.62	1.64	1.66	1.68	1.70
1.72	1.74	1.76	1.78	1.80	1.81	1.82	1.84	1.86	1.88
1.90									

Graphique I

RADIATION NORMALE. — 5 OCTOBRE 1926



a. b. c. d e ..... m — abscisses.

s. t. u. v. x. ..... z — ordonnées (valeurs moyennes).

c. c'. c". c"' ..... c^{n-1}. c^n — coefficients des valeurs moyennes.

Surface totale $= as^{m/m^2} + bt + \ldots + ex + \ldots + fy + gz + \ldots + ms = (a + m)\, s + (b + l)\, t + \ldots + gz = S$

Poids $= (a + m)\, s, c + (b + l)\, t.\, c' + \ldots \ldots\ldots\ldots + (f + h)\, y.\, c^{n-1} + gz.\, c^n = P.$

$K = \frac{P}{S}$ Valeur moyenne.

TABLEAU C

Valeur moyenne de K pour une totalisation journalière du pyrhéliographe (d'après la table 2)

ORDONNÉES (en divisions) (a)	ORDONNÉES moyennes (en divisions) (a)	LONGUEURS PARCOURUES (en m/m) (abscisses)			SURFACE calculée (en m/m²)	COEFFICIENT de l'ordonnée moyenne (Table 2)	POIDS des divers coefficients	*OBSERVATIONS*
		Début du jour	Soirée	Total				
0 à 10	5	7	5	12	60	0.0207	1.2420	(a) Ces divisions correspondent aux millimètres.
10 à 20	15	7	7	14	210	0.0204	4.2840	
20 à 30	25	6	4	10	250	0.0201	5.0250	
30 à 40	35	10	11	21	735	0.0198	14.5536	
40 à 50	45	17	14	31	1.395	0.0195	27.1925	
50 à 60	55	34	29	63	3.465	0.0194	67 2210	
60 a 66	63	54	53	107	6.741	0.0193	130.0943	
					Surface totale S = 12.856 m/m²			
							Poids total P = 249.6088	

5 octobre 1926 : Valeur moyenne : $\frac{P}{S} = \frac{249.6088}{12.856} = 0.0194 = Km$

à l'exemple ci-dessus pour différents mois de l'année. Les résultats de ces calculs sont donnés ci-dessous :

TABLEAU D

Valeurs moyennes de K pour la totalisation journalière du pyrhéliographe aux diverses saisons

Journée du :	Valeur du Coefficient —
5 avril 1926	0.01929
27 juillet 1926	0.01943
13 août 1926	0.01951
5 octobre 1926	0.01942
31 décembre 1926	0.01939

Valeur moyenne : 0.019408

Ce tableau montre des différences extrêmes, entre des diverses valeurs moyennes, de 22 unités du cinquième ordre, soit 0,2 ‰ comme erreur relative. Les écarts extrêmes proviennent des journées où les courbes sont surbaissées par suite d'une diminution du coefficient de transmission de l'atmosphère. L'erreur relative de 0,2 ‰ est négligeable en comparaison de l'erreur provenant de la marche de l'intégrateur Richard, dont l'approximation ne dépasse pas 2 ‰.

h) *Valeurs moyennes particulières aux diverses périodes de la journée.*

Cette valeur moyenne de 0.0194 est donnée pour la journée entière. En vue de recherches plus précises, il est nécessaire de calculer la valeur moyenne par fractions de journées. Nous avons obtenu les résultats suivants :

TABLEAU E

Valeurs moyennes de K pour les totalisations des fractions de journées du pyrhéliographe normal aux diverses saisons. (Période de mai 1925 à fin 1927) (mv = 0 — 40).

	Avant 9 heures	9 à 15 heures	Après 15 heures
31 décembre 1925	0,01955	0.01931	0.01976
16 mai 1926	0,01948	0.01920	0.01947
23 juin 1926	0.01950	0.01928	0.01948
26 juillet 1926	0.01955	0.01930	0.01963
19 août 1926	0.01958	0.01932	0.01960
19 octobre 1926	0.01971	0.01933	0.01970
Moyenne	0.01956	0.01930	0.01961

Les coefficients (valeurs moyennes) pour la période mai 1925 à fin 1927 seront donc :

9 heures à 15 heures	0.0193
Avant 9 heures et après 15 heures	0.0196
Journée entière	0.0194

Des calculs analogues ont fourni les chiffres suivants pour la période juillet 1924-mai 1925 (mv = 0 — 50) :

9 heures à 15 heures	0.0279
Avant 9 heures et après 15 heures	0.0283
Journée entière	0.0280

Des comparaisons portant sur les totalisations journalières de plus de trois années ne nous ont pas permis de trouver de différences dépassant 1 % entre les totalisations partielles affectées de leurs valeurs moyennes et les totalisations de journées entières affectées du coefficient moyen de la journée. Cette méthode de calcul donne donc toute confiance.

II. RÉSULTATS DES MESURES

Tableau I (pp. 155-170)

(Juillet 1924 à décembre 1927)

Valeurs horaires, obtenues par ciel clair, en $\frac{\text{calories-grammes}}{\text{cm}^2 \text{ - min.}}$

de l'intensité du rayonnement solaire à l'incidence normale, en temps vrai à l'Ariana $\varphi = 36°49$ N

Tableau II (p. 171)

Valeurs moyennes mensuelles (obtenues par ciel clair) en $\frac{\text{calories-grammes}}{\text{cm}^2 \text{ - min.}}$

de l'intensité du rayonnement solaire

à l'incidence normale pour chaque heure du jour, de juillet 1924 à décembre 1927, en temps vrai à l'Ariana

Tableau III (pp. 172-186)

Totalisation en calories pour quatre périodes journalières et par journées entières
Rayonnement solaire à l'incidence normale

Tableau IV (pp. 187-190)

Quantité journalière de calories reçue
Rayonnement solaire à l'incidence normale

Tableau V (p. 191)

Totalisation mensuelle en calories pour quatre périodes journalières
et la journée entière
Rayonnement solaire à l'incidence normale

III. OBSERVATIONS SUR LES VALEURS OBTENUES

Variations diurnes de la radiation sur une surface normale

a) *Valeurs horaires ante et post-meridiem.*

Si nous comparons (tableau F) quelques courbes journalières en mettant en regard les chiffres indiquant les valeurs de la radiation pendant l'ascension et la descente au cours de la journée, nous constatons qu'en général la courbe monte plus vite qu'elle ne descend, les valeurs *ante-meridiem* étant plus élevées que les valeurs symétriques *post-meridiem*. Ce fait semble dû à ce que la transmission des radiations s'effectue plus facilement le matin que le soir, la rosée produite par l'abaissement nocturne de la température ayant libéré, par condensation, l'atmosphère d'une certaine quantité de vapeur d'eau.

L'inverse peut, du reste, se produire parfois, surtout en hiver : une descente de la courbe plus rapide que la montée semble coïncider soit avec les journées pendant lesquelles il s'est produit une précipitation au milieu du jour — précipitation qui a nettoyé l'atmosphère et permis la transmission plus parfaite des radiations — soit avec celles où un brouillard contrarie dans la matinée le passage des radiations. Le tableau G (p. 139) donne quelques exemples à ce sujet.

Par analogie avec le tableau 1 du climat solaire théorique, les résultats des observations sont donnés, au tableau H (pp. 140-143), pour les années 1924, 1925, 1926 et 1927, pour chaque dixième jour du mois (1 — 11 et 21) en prenant les moyennes des cinq jours précédant et des cinq jours suivant cette date, par ciel clair.

Il arrive parfois qu'à 1 ou 2 heures a-m ou p-m (10 et 11 heures — 14 et 13 heures) les valeurs de la radiation soient plus fortes qu'à midi (chiffres soulignés); la courbe est alors surbaissée à midi.

a) *Exemple de courbes surbaissées à midi.*

	6 VI 1925	30 VI 1925	3 VII 1925	19 VII 1927	13 XII 1926
	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.
11 heures.....	1,25	1,18	1,35	1,44	1,27
12 heures.....	1,24	1,16	1,33	1,42	1,24
13 heures.....	1,25	1,18	1,35	1,46	1,25

b) *Forme des courbes.*

Le graphique 2 (p. 137) et le tableau I (p. 144) permettent de constater les différences suivantes entre les courbes réelles et les courbes théoriques qui les encadrent :

Graphique II

— Courbes réelles & Courbes théoriques .....

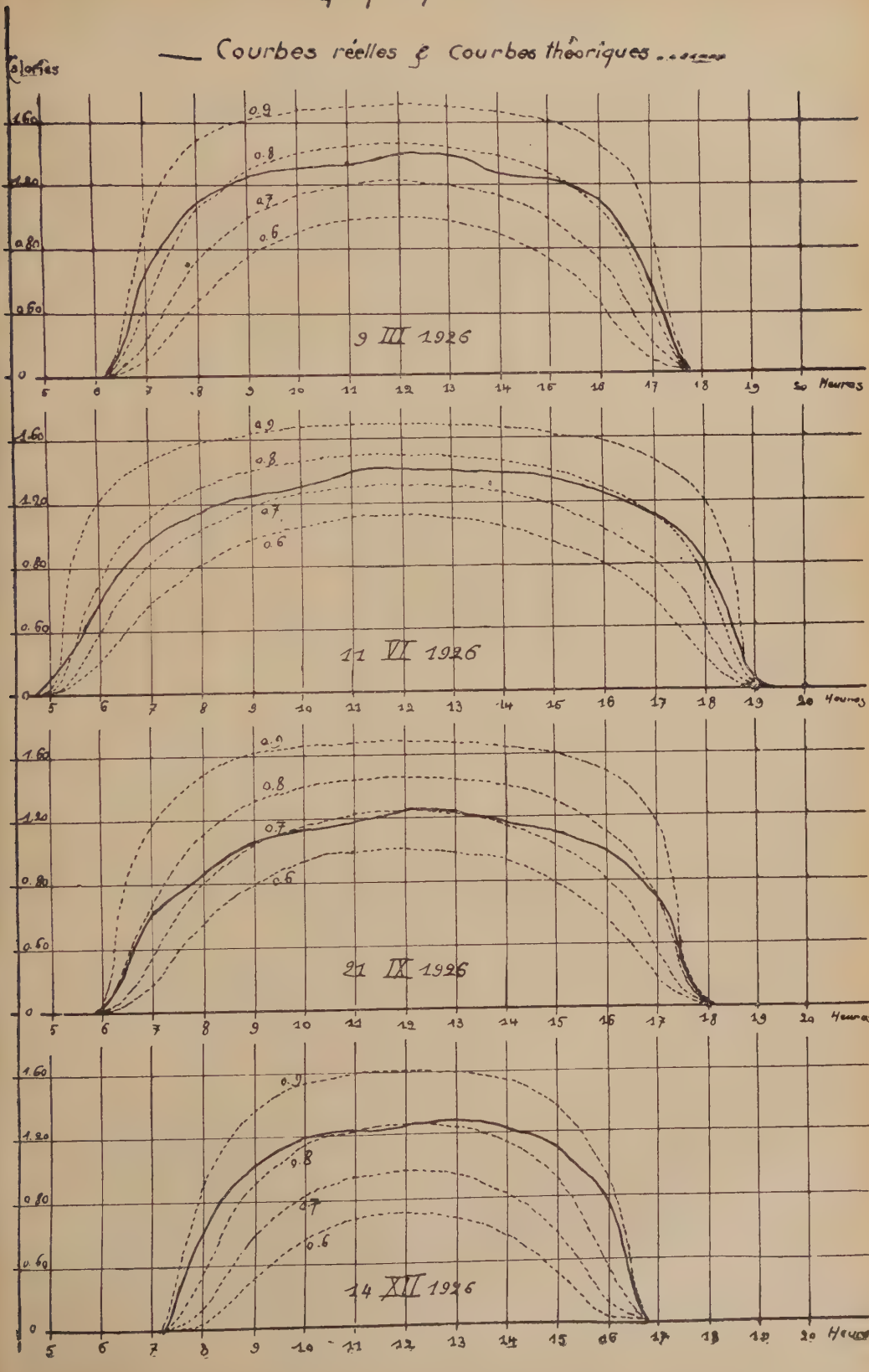


TABLEAU F

Comparaison des valeurs ante et post-meridiem. — Valeurs en petites calories (courbes correspondant à un ciel clair). — Valeurs ante-meridiem > valeurs post-meridiem

DATE	11 h.	13 h.	10 h.	14 h.	9 h.	15 h.	8 h.	16 h.	7 h.	17 h.	6 h.	18 h.	5 h.	19 h.
2- I -1926.....	1.33	1.27	1.25	1.14	1.11	0.94	0.80	0.60						
22- I -1925.....	1.30	1.24	1.16	1.11	1 »	0.81	0.67	0.47						
12- II -1927.....	1.40	1.38	1.33	1.31	1.20	1.18	0 96	0.94	0.39	0.31				
18- II —	1.46	1.44	1.40	1.38	1.31	1 29	1.03	1.01	0.54	0.52				
17- III -1926.....	1.56	1.50	1.50	1.42	1.41	1.31	1.27	1.14	0.98	0.75				
21- III -1927.....	1.54	1.48	1.44	1.42	1.35	1.33	1.20	1.18	0.84	0.82				
5- IV —	1.57	1.46	1.52	1.46	1.46	1.38	1.33	1.22	1.69	0.92	0.46	0.31		
28- IV —	1.52	1.48	1.48	1.42	1.42	1.33	1.33	1.27	1.13	1.11	0.71	0.66		
20- V —	1.27	1.18	1.24	1.13	1.16	1.09	1.07	1.01	0.88	0.80	0.52	0.50		
21- V —	1.33	1.24	1.31	1 22	1.24	1.13	1.16	1.03	0.98	0.78	0.64	0.33		
7- VI —	1.42	1.40	1 40	1.38	1.36	1.31	1.27	1.22	1.11	1.09	0.77	0.66	0.08	0.04
8- VI —	1.42	1.36	1.40	1.35	1 36	1.29	1.27	1.16	1.13	1.01	0.86	0.75	0.16	0.12
11- VII-1926.....	1.33	1.29	1.29	1.22	1.24	1 13	1.09	1.05	0.86	0.84				
11- VII-1927.....	1.18	1.16	1.14	1 11	1.07	1.03	0.94	0.90	0.71	0.69				
2- VIII —	1.25	1.22	1.24	1.20	1.18	1.09	1.07	0.96	0.88	0.73	0.54	0.33		
13- VIII-1926.....	1.11	1.07	1.07	1.01	1.03	0.96	0.98	0.88	0.80	0.69	0.40	0.33		
11- IX -1927.....	1.38	1.35	1.35	1.25	1.27	1.20	1.13	1.01	0.90	0.69	0.29	0.04		
25- IX -1926.....	1.29	1.16	1.25	1.01	1.16	1.09	1.07	0.91	0.73	0.42	0.19	0.02		
4- X -1927.....	1.48	1.46	1.46	1.42	1.35	1.29	1.18	1.09	0.82	0.67				
13- X -1926.....	1.25	1.24	1.18	1.01	1.13	1.11	0.92	0 90	0 52	0.42				
16- XI -1925.....	1.50	1.46	1.40	1 36	1.22	1.14	0.88	0.84						
21- XI —	1.48	1.46	1 40	1.38	1.24	1.20	0.92	0.90						
2- XII-1926.....	1.29	1.27	1.25	1.20	1.13	1.09	0.86	0.77						
02- XII-1925.....	1.29	1.24	1.22	1.11	1.09	0.92	0.77	0.58						

TABLEAU G

Comparaison des valeurs ante et post-meridiem. — Valeurs en petites calories

(courbes correspondant à un ciel clair. — Valeurs ante-meridiem < valeurs post-meridiem

DATE	11 h.	13 h.	10 h.	14 h.	9 h.	15 h.	8 h.	16 h.	7 h.	17 h.	6 h.	18 h.	5 h	19 h.
14- VI -1927.....	1.24	1.27	1.20	1.25	1.14	1.20	1.03	1.09	0.84	0.96	0.52	0.67	0.02	0.08
21- VI —	1.46	1.50	1.44	1.48	1.35	1.42	1.29	1.35	1.16	1.18	0.86	0.90	0.14	0.23
5- VII —	1.22	1.24	1 16	1.22	1.07	1.16	0.99	1.07	0.84	0.86	0.54	0.56		
18- VII —	1.05	1.13	0.96	1.11	0.86	1.22	0.73	1.14	0.52	1.01	0.21	0.69		
22- VII —	1.29	1.31	1.25	1.29	1.22	1.29	1.13	1.22	0 98	1.07	0 64	0.80		
5- VIII —	1.36	1.38	1.31	1.38	1.25	1.35	1.20	1.25	0.98	1.07	0.62	0.69		
13- X —	1.56	1.57	1.48	1.50	1.38	1.40	1.16	1.18	0.69	0.71				
15- XI —	1.57	1.61	1.50	1.52	1.48	1.52	1.01	1.03						
20- XI -1926.....	1.29	1.31	1.22	1.27	1.07	1.16	0.75	0.88						
1- XII -1925.....	1.40	1.44	1.36	1.38	1.20	1.27	0.82	0.94						
31- XII -1926.....	1.16	1.22	1.07	1.16	0.90	0.96	0.39	0.48						

TABLEAU

Valeurs horaires en calories

Radiation solaire à l'incidence normale.

ANNÉE		1924										
Quantième	Heure a.-m. ou p.-m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	0 (12h)								1.44	1.35	1.30	1.50
	1								1.43	1.34	1.25	1.44
	2								1 39	1.30	1.22	1.43
	3								1.34	1.22	1.07	1.31
	4								1.23	1.07	0.88	1.10
	5								1.07	0.80	0.44	0.36
	6								0.67	0.28		
	7											
11	0 (12h)								1.23	1.27	1.48	1.47
	1								1.27	1.26	1.45	1.46
	2								1.21	1 21	1.39	1.41
	3								1.10	1.09	1.30	1.30
	4								0.95	0.87	1.13	1 »
	5								0.57	0.57	0.69	
	6								0.24	0.05		
	7											
21	0 (12h)							1.36	1.39	1.35	1.41	1.41
	1							1.34	1.38	1.30	1.36	1.38
	2							1.32	1.33	1.28	1.31	1.34
	3							1.27	1.27	1.17	1.17	1.16
	4							1.16	1.18	1.01	0.95	0.84
	5							0.97	0.95	0.64	0.24	
	6							0.55	0.43	0.44		
	7											

Moyenne ante et post-meridiem)

Moyennes de décades 26 au 5, 6 au 15, 16 au 25

	1925											
XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1.38	1. 7	1.33	1 40	1.43	1.41	1.33	1.34	1.13	1 07	1.35	1.44	1.37
1.38	1.27	1.41	1.37	1.44	1.41	1.31	1.35	1.12	1.06	1.33	1.25	1.36
1.30	1.35	1.36	1.32	1.38	1.40	1.28	1.29	1.09	1.01	1.29	1.16	1.29
0.97	1.21	1.06	1.23	1.23	1.34	1.23	1.23	1.01	0.93	1.20	1.06	1.15
	0.85	0.97	1.04	1.12	1.26	1.16	1.14	0.90	0.80	1.01	0.80	0.85
		0.03	0.45	0.80	0.99	1.03	0.97	0.70	0.62	0.73	0.27	
				0.11	0.72	0.74	0.64	0.37	0.25			
						0.17	0.10					
1.48	1.36	1.48	1.41	1.48	1.35	1.25	1.36	1.23	1 25	1.33	1.25	1.37
1.47	1.34	1.46	1.44	1.47	1.41	1.26	1.34	1.21	1.20	1.34	1.23	1.34
1.41	1.27	1 39	1.37	1.41	1.48	1.25	1.30	1.19	1.19	1.32	1.15	1.27
1.26	1.12	1.27	1.27	1.41	1.46	1.16	1.24	1.13	1.14	1.19	0.97	1.13
0.84	0.64	0.97	1.08	1.35	1.38	1.06	1.15	1.03	0.96	0.94	0.69	0.77
		0.27	0.76	1.03	1.08	0.89	0.98	0.84	0.69	0.48		
				0.14		0.62	0.69	0.48	0.21			
						0.17	0.28					
1.39	1.40	1.51	1.45	1.26	1.26	1.22	1.25	1.17	1.09	1.42	1.49	1.28
1.31	1.35	1.47	1.41	1.28	1.23	1.21	1.24	1.16	1.10	1.39	1.49	1.27
1.28	1.31	1.42	1.34	1.30	1.21	1.17	1.20	1.12	1.04	1.32	1.39	1.21
1.26	1.18	1.32	1.24	1.17	1.16	1.12	1.13	1.07	0.97	1.21	1.25	1 »
0.81	0.89	1.12	0.99	0.96	1.01	1.03	1.04	0.93	0.76	0.96	0.89	0.68
	0.05	0.53	0.44	0.84	0.83	0.85	0.83	0.72	0.58	0.48		
				0.40	0.58	0.61	0.47	0.30	0.19			
						0.14	0.08	0.02				

TABLEAU

Valeurs horaires en calories

Radiation solaire à l'incidence normale.

ANNÉE		1926										
Quantième	Heure a.-m. ou p.-m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	0 (12h)	1.34	1.41	1.38	1.43	1.35	1.42	1.27	1.29	1.20	1.28	1.24
	1	1.29	1.39	1.35	1.41	1.32	1.36	1.24	1.25	1.17	1.24	1.22
	2	1.22	1.28	1.29	1.38	1.31	1.28	1.23	1.22	1.13	1.20	1.17
	3	1.07	1.18	1.13	1.31	1.27	1.26	1.18	1.16	1.04	1.13	1.08
	4	0.73	0.89	0.85	1.15	1.12	1.14	1.07	1.06	0.92	0.92	0.88
	5		0.25	0.42	0.86	0.85	1.03	0 93	0.88	0.68	0.58	0.26
	6				0.21	0·39	0.67	0.65	0.55	0.21	0.04	
	7						0.07	0.15	0.02			
11	0 (12h)	1.41	1.47	1.49	1.50	1·37	1.37	1.29	1.17	1.15	1.25	1.24
	1	1.39	1.40	1.45	1.49	1.37	1.36	1.29	1.16	1.14	1.23	1.22
	2	1.31	1.33	1.35	1.41	1.33	1.34	1.25	1.16	1.14	1.21	1.20
	3	1.10	1.20	1.24	1.32	1 25	1.27	1.21	1.08	1.01	1.11	1.11
	4	0.73	0.91	1.05	1.17	1.16	1.16	1.14	0.99	0.81	0.92	0.87
	5		0.21	0.60	0.95	0.95	1.01	0.97	0.81	0.62	0.49	
	6				0.62	0.56	0.70	0.63	0.46	0.09		
	7						0.11	0.09				
21	0 (12h)	1.38	1.51	1.56	1.56	1.57	1.40	1.35	1.26	1.24	1.25	1.27
	1	1.38	1.52	1.53	1.52	1.57	1.36	1.34	1.24	1 21	1.24	1.26
	2	1.30	1.48	1.46	1·52	1.50	1.33	1.30	1.21	1.17	1.18	1.19
	3	1.14	1.34	1.34	1.36	1.40	1.25	1.25	1.14	1.08	1.09	1.05
	4	0.92	1.14	1.12	1.31	1.35	1.18	1.15	1.04	0.92	0.87	0.72
	5	0.35	0.55	0.82	0.94	1.15	1 03	0.98	0.82	0.67	0.41	
	6				0.40	0.76	0.71	0.68	0.42	0.12		
	7						0.15	0 07				

(suite)

oyenne ante et post-meridiem)

oyennes de décades 26 au 5, 6 au 15, 16 au 25).

	1927											
XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
.32	1.38	1.51	1.54	1.47	1.48	1.35	1.29	1.43	1.41	1.52	1.58	1.35
28	1.36	1.47	1.46	1.46	1.47	1.30	1.25	1.42	1.36	1.51	1.56	1.34
.22	1.24	1.34	1.41	1.42	1.43	1.26	1.20	1.38	1.31	1.45	1.49	1.26
.09	1.09	1.18	1.32	1.34	1.36	1.18	1.13	1.31	1.19	1.33	1.35	1.09
.82	0.77	0.90	1.11	1.17	1.25	1.10	1.05	1.21	1.04	1.13	1.08	0.76
		0.30	0.67	0.86	1.04	0.95	0.87	1.02	0.78	0.72	0.40	
				0.34	0.59	0.63	0.56	0·69	0.36			
						0.08	0.06					
.32	1.42	1.50	1.46	1.39	1.38	1.36	1.17	1.38	1.42	1.59	1.56	1.31
.29	1.40	1.41	1.45	1.37	1.36	1.34	1.16	1.35	1.42	1.57	1.54	1.31
.24	4.38	1.06	1.38	1.31	1.33	1.32	1.12	1.31	1.35	1.49	1.45	1.22
.05	1.31	1.21	1 36	1.22	1.28	1.25	1.03	1.21	1.27	1.32	1.29	1.06
.66	0.98	0.93	1.11	1·07	1.17	1.15	0.90	1.10	1.14	1.15	1.01	0.71
		0.31	0.73	0.83	0.94	0.99	0.70	0.88	0.87	0.71	0.33	
				0.37	0.58	0.69	0.40	0.47	0.21			
						0.09	0.03					
.33	1.42	1.47	1.57	1.53	1.41	1.46	1.29	1.40	1.48	1.48	1.55	1.31
.25	1.38	1.43	1.53	1.50	1.32	1.44	1.28	1.39	1.48	1.45	1.53	1.26
.18	1.32	1.39	1.44	1·45	1.29	1·41	1.26	1.35	1.39	1.38	1.45	1.20
.06	1.21	1.27	1 34	1.35	1.23	1.35	1.23	1.27	1.23	1.22	1.27	1.03
.73	0.82	1.04	1.15	1.25	1.11	1.26	1.12	1.11	1.04	0.97	0.90	0.65
		0.40	0.83	0.99	0.92	1.11	0.97	0.91	0.70	0.44		
				0.51	0.60	0.81	0.63	0.46				
						0.16						

Tableau I

Comparaison entre les formes des courbes réelles et des courbes théoriques qui les encadrent. (Valeurs de la radiation solaire à l'incidence normale en cal. gr. — cm², min.)

COURBE	HEURE	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Coefficient						9 MARS 1926									
Théorique.	0.6			0.09	0.46	0.74	0.89	0.97	0.99	0.97	0.89	0.74	0.46	0.09		
	0.7			0.21	0.72	0.98	1.13	1.20	1.23	1.20	1.13	0.98	0.72	0.21		
	0.8			0.45	1.05	1.28	1.39	1.44	1.41	1.44	1.39	1.28	1.05	0.45	(1)	
	0.9			0.94	1.47	1.61	1.66	1.70	1.70	1.70	1.66	1.61	1.47	0.94		
	1.0			1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96		
Réelle				0.66	1.07	1.25	1.31	1.33	1.40	1.38	1.27	1.25	1.09	0.58		
								11 JUIN 1926								
Théorique.	0.6	0.00	0.21	0.57	0.80	0.95	1.04	1.09	1.11	1.09	1.04	0.95	0.80	0.57	0.21	0.00
	0.7	0.00	0.40	0.82	1.03	1.17	1.25	1.29	1.30	1.29	1.25	1.17	1.03	0.82	0.40	0.00
	0.8	0.00	0.72	1.11	1.29	1.39	1.45	1.48	1.49	1.48	1.45	1.39	1.29	1.11	0.72	0.00
	0.9	0.02	1.20	1.46	1.58	1.63	1.66	1.68	1.69	1.68	1.66	1.63	1.58	1.46	1.20	0.02
	1.0	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
Réelle		0.08	0.58	0.98	1.14	1.25	1.29	1.38	1.40	1.39	1.38	1.35	1.24	1.11	0.82	0.04
								21 SEPTEMBRE 1926								
Théorique.	0.6			0.17	0.55	0.78	0.93	0.99	1.01	0.99	0.93	0.78	0.55	0.17		
	0.7			0.35	0.80	1.03	1.15	1.22	1.24	1.22	1.15	1.03	0.80	0.35		
	0.8			0.67	1.11	1.30	1.40	1.44	1.45	1.44	1.40	1.30	1.11	0.67	(1)	
	0.9			1.18	1.49	1.60	1.65	1.67	1.68	1.67	1.65	1.60	1.49	1.18		
	1.0			1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93		
Réelle				0.62	0.86	1.05	1.14	1.18	1.24	1.22	1.16	1.11	0.99	0.67		
								14 DÉCEMBRE 1926								
Théorique.	0.6				0.04	0.33	0.56	0.68	0.72	0.68	0.56	0.33	0.04			
	0.7				0.13	0.58	0.82	0.95	0.97	0.95	0.82	0.58	0.13			
	0.8				0.36	0.92	1.15	1.25	1.28	1.25	1.15	0.92	0.36	(1)		
	0.9				0.91	1.38	1.54	1.60	1.61	1.60	1.54	1.38	0.91			
	1.0				1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99			
Réelle					0.66	1.05	1.20	1.25	1.27	1.29	1.24	1.11	0.77			

(1) Le trait représente l'endroit où la valeur réelle s'intercalle entre les valeurs des divers coefficients.

Les courbes réelles montent et descendent plus rapidement que les courbes théoriques et sont plus aplaties au milieu de la journée, ce qui semble résulter d'un coefficient de transmission de l'atmosphère plus élevé au début et à la fin de la période diurne d'insolation que dans la partie moyenne de cette période.

Le début et la chute du jour, après le lever et avant le coucher du soleil, sont donc très brusques, ce qui accroît l'impression de brièveté de l'aurore et du crépuscule.

Ajoutée à ces faits, la réduction du coefficient de transmission au milieu de la journée contribue à rendre plus uniforme la valeur de la radiation au cours de la journée.

Variations annuelles

a) *Variation du maximum à midi.*

Le graphique 3 (p. 146) montre que le maximum atteint sa plus grande valeur en hiver; il ne faut pas confondre la marche de l'intensité de la radiation avec celle de la température, cette dernière étant fonction de la durée journalière de l'insolation, de l'échauffement du sol et de l'air, etc..., etc..., tandis que l'intensité de la radiation dépend de la transparence de l'atmosphère. Cette grande intensité de la radiation en hiver a de bons effets sur les êtres érigés à la surface du sol, car ils reçoivent une bien plus grande quantité de radiations qu'on ne le croit généralement.

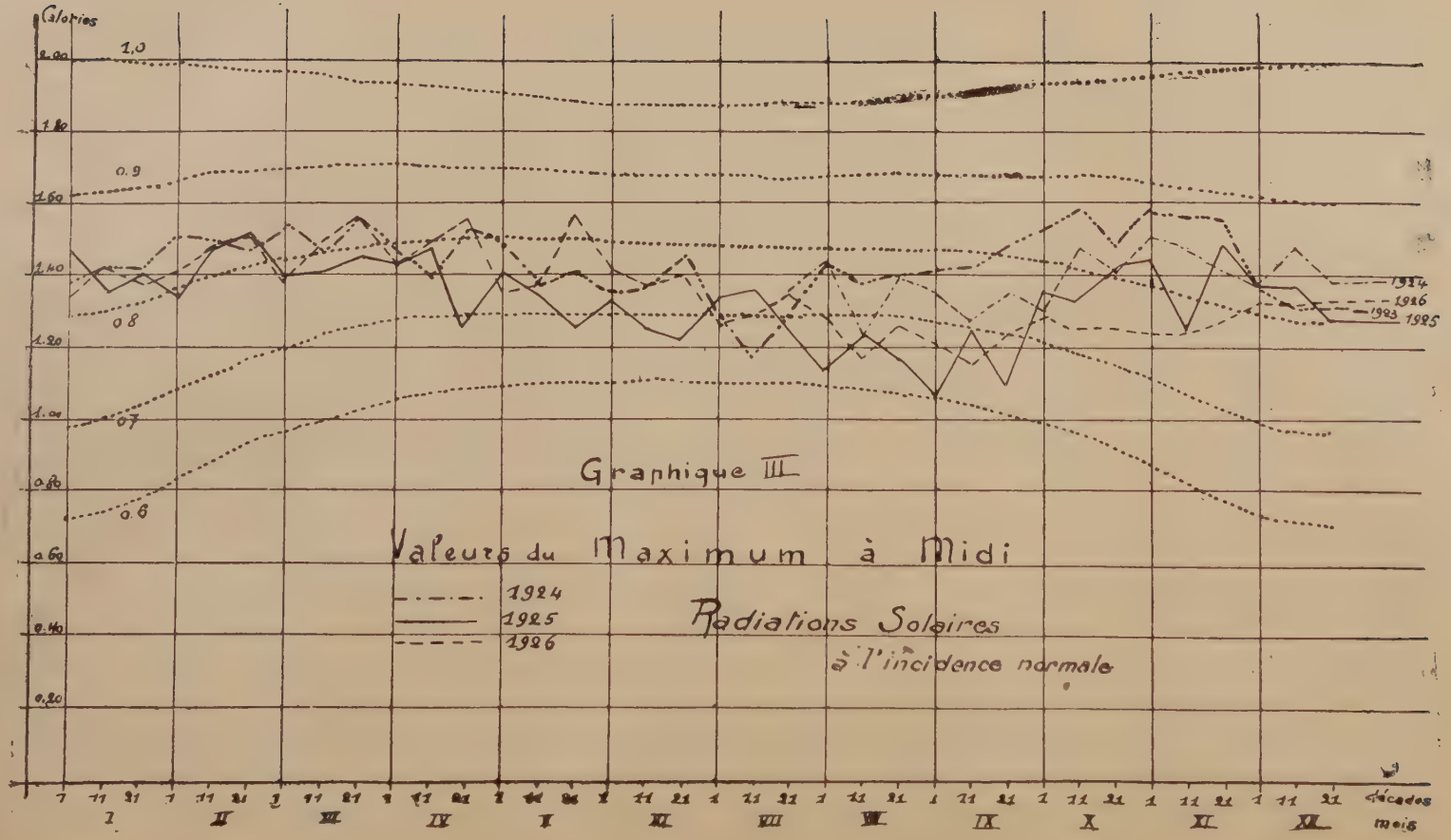
Le maximum, qui varie déjà peu dans les courbes théoriques et d'autant moins que le coefficient de transmission est plus élevé, présente au cours de l'année une variation très atténuée dans les courbes d'observations; ces courbes sont moins régulières, car l'atmosphère est souvent troublée, ce qui provoque des chutes brusques du maximum; c'est en juillet et en août qu'elles atteignent leur point le plus bas, en fin novembre et en mai qu'elles présentent leurs maxima (comparer les trois années).

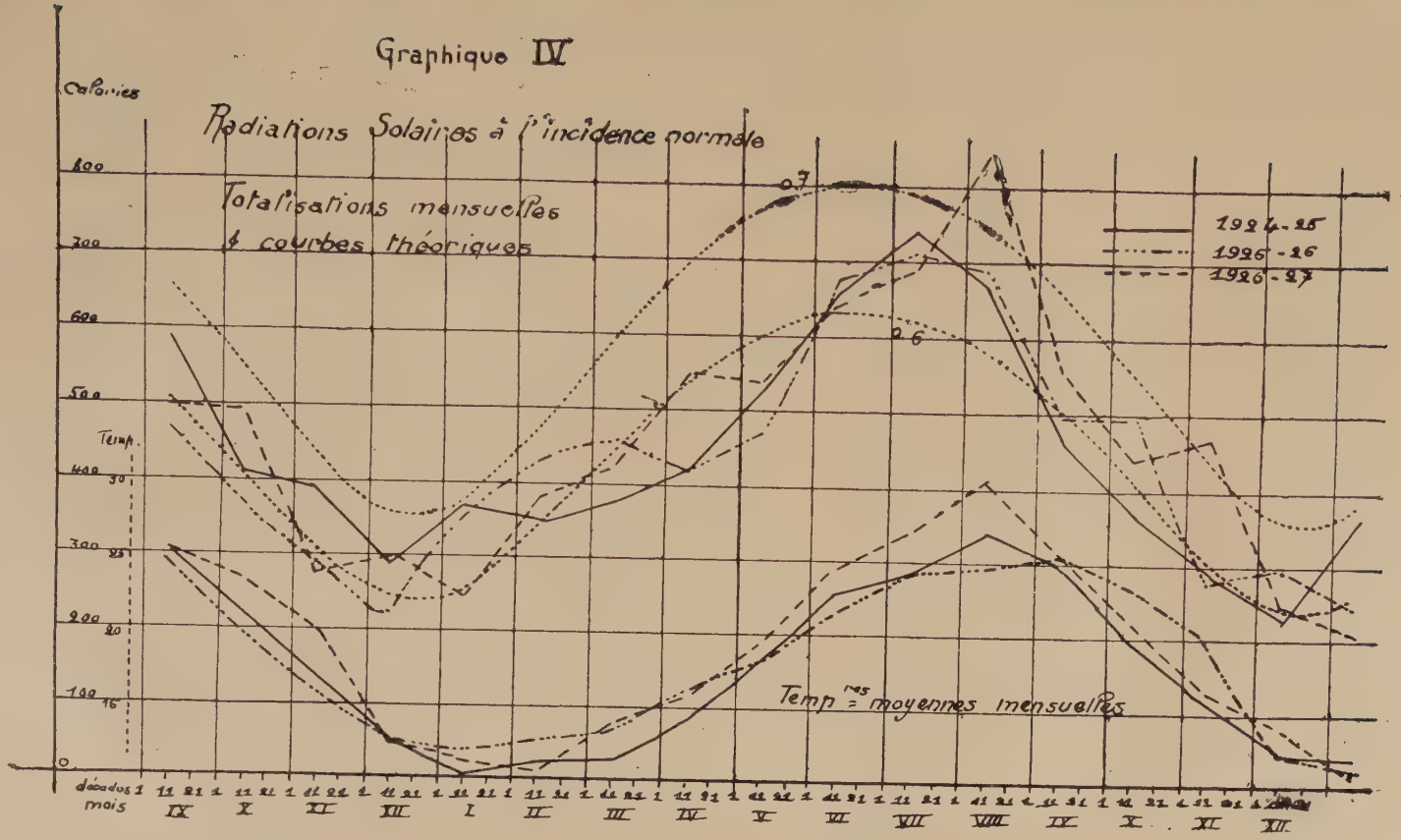
b) *Variations annuelles de la quantité diurne.*

Le tableau IV indique les quantités journalières reçues pour la radiation normale pendant les années 1924, 1925, 1926 et 1927, ainsi que les totaux mensuels normalisés.

Le graphique 4 (p. 147) permet de faire la comparaison entre les moyennes mensuelles provenant d'observations et les moyennes théoriques pour les coefficients 0,6 et 0,7 pendant les années 1924, 1925, 1926, 1927.

L'année 1925 a reçu une quantité de radiations bien moindre que 1926 et surtout que 1927 et les six mois de 1924 que nous avons enregistrés montrent une insolation beaucoup plus forte que la période correspondante des deux années qui suivent et même que 1927, qui dépasse cependant de beaucoup les deux années antérieures.


Calories
2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
1924
1926
1923
1925
Graphique III
Valeurs du Maximum à Midi
1924
1925
1926
Radiations Solaires
à l'incidence normale
décades
mois


Graphique IV
Calories
Radiations Solaires à l'incidence normale
Totalisations mensuelles
& courbes théoriques
1924-25
1925-26
1926-27
0.7
0.6
Temp
Temps = moyennes mensuelles
décades
mois
IX X XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII

Quantité de calories reçues en 1925	164.434	cal. gr. cm² min.
— 1926	173.067	—
— 1927	181.806	—
Quantité de calories reçues pendant le 2e semestre 1924	98.874	—
— 1925	82.944	—
— 1926	88.092	—
— 1927	97.635	—

*
* *

Les quantités de calories reçues à l'incidence normale pour les trois années agricoles 1924-1925, 1925-1926 et 1926-1927 par saison sont les suivantes:

	AUTOMNE — 21 septembre au 20 décembre	HIVER — 21 décembre au 20 mars	PRINTEMPS — 21 mars au 20 juin	ÉTÉ — 21 juin au 21 septembre	Année agricole
1924-1925	33.397	32.898	47.037	57.457	170.789
1925-1926	27.570	35.838	47.198	57.546	168.152
1926-1927	34.309	29.988	49.797	65.205	179.299
Théoriquement :					
Coefficient 0.6	31.475	28.500	52.486	53.761	166.222
Coefficient 0.7	43.605	40.309	68.648	68.976	220.538
Coefficient 0.8	59.475	55.882	85.613	87.055	288.025

La totalité des calories reçues pendant une année est donc de peu supérieure à celle qui correspondrait au coefficient de 0,6 par ciel clair. Même dans les régions ensoleillées du Nord de l'Afrique, la radiation directe subit une *très importante réduction* du fait des nuages et de l'absorption atmosphérique. Le tableau J (p. 149) donne les moyennes par décades et les moyennes mensuelles pour les trois années culturales étudiées, les valeurs théoriques pour les coefficients 0,6 et 0,7 et la température moyenne mensuelle. Ce tableau est illustré par le graphique 4 (p. 147).

L'examen des chiffres du tableau J et mieux des courbes (graphique 4) tracées à l'aide des moyennes mensuelles permet un certain nombre d'observations : les différences sont très sensibles entre les deux années agricoles 1924-1925 et 1925-1926; l'année 1926 a été moins ensoleillée que l'année précédente de septembre à janvier, davantage en mars-avril-mai et moins en juin-juillet. Ces particularités ont été très favorables à la végétation, qui a bénéficié, pendant la période de grande croissance, en février-mars, d'une quantité importante de radiation qui a accéléré le développement et permis aux céréales de former leurs épis de très bonne heure.

L'année 1926-1927 montre une diminution des radiations, de décembre à février, défavorable au développement des plantes, et, en mars-avril-mai, une exagération de la radiation par rapport aux années précédentes.

L'allure des courbes de température moyenne est plus régulière que

TABLEAU J

Moyennes, par décades et mensuelles, des totalisations observées, mises en regard des moyennes théoriques (pour les coefficients 0,6 et 0,7) et des températures moyennes mensuelles. Radiations solaires à l'incidence normale.

MOIS	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Moyennes												
ANNÉE 1924-1925												
Au 1er	602	315	467	298	468	381	561	384	698	657	626	637
Au 11	600	577	328	289	229	283	297	423	408	659	785	745
Au 21	560	339	340	279	393	364	298	452	429	640	736	621
Mensuelle	588	410	381	289	367	344	373	418	523	652	734	669
Théorique :												
Coefficient 0.6.....	504	407	304	242	254	342	441	537	598	627	619	578
Coefficient 0.7.....	659	550	434	359	378	478	589	696	766	799	790	742
Tempre mensuelle ...	25.35	20.90	16.85	12.50	10.35	11.15	11.30	14.15	18.10	22.90	24.30	26.95
ANNÉE 1925-1926												
Au 1er	482	273	262	294	399	423	322	396	468	654	622	652
Au 11	439	309	254	143	418	273	509	383	589	814	620	675
Au 21	431	514	353	230	241	575	502	463	336	545	872	728
Mensuelle	468	365	289	222	354	429	453	413	465	671	705	684
Théorique :												
Coefficient 0.6.....	504	407	304	242	254	342	441	537	598	627	619	578
Coefficient 0.7.....	659	550	434	359	378	478	589	696	766	799	790	742
Tempre mensuelle ...	24.60	19.55	15.65	12.45	12.00	12.55	13.35	16.05	18.05	21.55	24.10	24.45
ANNÉE 1926-1927												
Au 1er	507	442	304	281	276	338	549	502	612	529	595	884
Au 11	390	573	223	382	185	387	398	613	363	716	660	828
Au 21	592	464	288	230	271	407	338	521	638	681	815	818
Mensuelle	496	493	273	295	241	376	420	544	538	638	690	845
Théorique :												
Coefficient 0.6.....	504	407	304	242	254	342	441	537	698	627	619	578
Coefficient 0.7.....	659	550	434	359	378	478	589	696	766	799	790	742
Tempre mensuelle ...	25.45	23.20	20.00	12.20	11.20	10.95	13.65	15.60	19.25	24 45	26.90	30.20

Le graphique 4 complète le tableau ci-dessus.

celle des courbes de radiations; elle traduit également bien les particularités ci-dessus.

La température moyenne de 1926-1927, beaucoup plus élevée que les années précédentes, indique une année anormalement chaude. La température élevée a nui aux céréales, et les récoltes ont eu à souffrir de l'échaudage.

Il est à noter que les courbes de température présentent un décalage par rapport à celles des totalisations de calories. Leur minimum et leur maximum montrent un retard de 30 à 45 jours, sauf pour l'année 1926-1927, où le maximum de température correspond au maximum de calories reçues.

Au point de vue phénologique, les deux facteurs température et radiation ont leurs actions propres. Il sera probablement possible d'expliquer au moyen de leurs courbes des particularités de végétation dont la cause nous échappait. Pour aborder cette étude, il est toutefois nécessaire de faire entrer en ligne de compte les quantités de radiations reçues par le sol et les variations de température de ce dernier. Nous ne saurions dire actuellement dans quelles mesures respectives température et quantité de chaleur interviennent dans le développement des cultures.

Bien que les chiffres se rapportant à la radiation comprennent tous les jours (clairs et nuageux) et ne permettent pas une comparaison avec la courbe théorique, le rapprochement des deux courbes montre cependant, avec évidence, un relèvement de la proportion de chaleur reçue en décembre-janvier-février-juillet-août et un fort abaissement en mars-avril-mai-juin. Cette dernière période correspond à celle de la plus grande évaporation de l'eau du sol, qui atténue la transparence de l'atmosphère par l'interposition de masses de vapeur d'eau, souvent à l'état de nuages.

IV. QUELQUES REMARQUES CONCERNANT LES VARIATIONS DIURNES DE LA RADIATION SUR UNE SURFACE HORIZONTALE

Toutes les tables données dans le présent travail se rapportent seulement aux valeurs de l'intensité du rayonnement solaire à l'incidence normale. La discussion des résultats obtenus avec les solarigraphes, c'est-à-dire pour la surface horizontale, ne fait pas l'objet du présent travail et est réservée pour une étude spéciale qui sera publiée dans un des tomes suivants des *Annales du Service Botanique*. Néanmoins, étant donné le grand intérêt des courbes solarigraphiques obtenues en grand nombre à l'Ariana pendant les années 1925-1926 et 1927, nous donnons quelques remarques préliminaires concernant la marche diurne de l'intensité du rayonnement venant non seulement du soleil, mais de toute la voûte céleste. C'est l'effet du rayonnement diffusé que l'on étudie surtout dans les données solarigraphiques, et l'on voit immédiatement le très grand intérêt que présente l'intensité des rayons diffus pour toute notre vie en général et pour les phénomènes agricoles en particulier.

La radiation reçue pour une surface horizontale est mesurée au moyen

du solarimètre à lecture directe et enregistrée au moyen du solarigraphe; elle comprend le rayonnement direct du soleil, le rayonnement diffusé par l'atmosphère et celui qui est réfléchi par les nuages.

a) *Particularité des courbes. — Importance de la lumière diffusée.*

Les courbes obtenues au solarigraphe montrent que la montée et la descente sont moins brusques que dans les courbes du pyrhéliographe; elles sont atténuées, non seulement par l'intervention de la hauteur du soleil, mais aussi par la lumière diffuse.

Il convient de remarquer sur un assez grand nombre de courbes les protubérances causées par une insolation brusque plus forte, conséquence des radiations réfléchies par les nuages.

Nous donnons ci-dessous un exemple remarquable d'observations directes de ce phénomène de concentration des radiations (1).

.....

.....

« ..... c'est l'effet d'un rayonnement réfléchi par les nuages blancs avec leurs faces éblouissantes qui peut occasionner une certaine augmentation passagère de l'intensité du rayonnement solaire. Il faudrait pour cela que le ou les nuages en question soient disposés de telle façon autour du soleil que la position de l'énergie rayonnante réfléchie par eux revienne justement dans l'appareil actinométrique avec le rayonnement direct; cela n'est ni fréquent ni important pour les pyrhéliomètres exposés dans des tubes normalement aux rayons solaires, mais cela arrive fréquemment pour les solarimètres, qui, ayant les récepteurs thermo-électriques exposés horizontalement, sous des hémisphères en verre, mesurent non seulement l'intensité venant directement du soleil, mais aussi l'ensemble des rayons réfléchis par toute la voûte céleste (2).

« Un exemple frappant nous fut donné le 26 avril 1926 au Col Temet (altitude 1.861 mètres), dans les montagnes de l'Atlas algérien, près de la ville de Batna (Constantine). L'intensité du rayonnement solaire, mesurée à l'incidence normale avec un actinomètre bimétallique (modèle Michelson-Marten), nous a donné, ce jour, des valeurs atteignant 1,60 cal. gr. cm² min. entre 11 et 13 heures. Le ciel était sans nuages le matin, mais vers midi quelques gros cumuli s'approchèrent du soleil. Or, à un moment donné, vers 12 h. 30', deux gros cumuli avec des faces éblouissantes prirent une telle situation par rapport au disque solaire qu'une réflexion intense se produisit juste dans la direction de la pile sensible placée sous un verre hémisphérique et notre solarimètre nous indiqua pen-

---

(1) Ladislas Gorczynski : *Comptes rendus du Congrès de l'A. F. A. S.* Constantine 1927 — 7e Section — Météorologie et Physique du Globe. « Quelques résultats de l'intensité du rayonnement solaire obtenus au Sahara en 1924 et 1926 avec les pyrhéliomètres et les solarimètres. »

(2) Voir la description des solarimètres dans la revue mensuelle *La Météorologie*, septembre 1927, les *Annales du Service Botanique* 1928 et dans le numéro de septembre 1926 de la *Monthly Weather Rewiew*, de Washington.

dant un moment une valeur dépassant même un peu 2,10 cal. gr. cm² minute sur une surface horizontale. L'intensité de rayonnement solaire (pour la distance zénithale de 25°) ne pouvait être supérieure à :

$$« 1{,}60 \times \text{Cos. } 25° \ (0{,}906) = 1{,}45$$

« La différence entre cette dernière valeur et 2,10 représente l'effet du rayonnement diffusé et réfléchi par toute la voûte céleste, mais, dans notre cas particulièrement, c'est surtout l'effet du rayonnement réfléchi par les gros cumuli en question. Quand ces gros cumuli se furent déplacés et déformés de manière à ne plus occasionner de si fortes réflexions juste dans la direction de la pile solarimétrique, l'aiguille du solarimètre montra une déviation qui, traduite de millivolts en calories, donnait des valeurs voisines de 1,7 cal. gr. cm² min. pour la surface horizontale. Cela représente une valeur déjà plus modérée du rayonnement diffusé, lequel oscille généralement autour de 10 % du rayonnement reçu normalement vers midi par ciel clair sans ou avec de petits nuages peu réfléchissants.

« On trouve beaucoup d'exemples très intéressants concernant la proportion du rayonnement diffusé dans les grandes séries de mesures faites à l'Ariana (Tunisie), où, à côté des pyrhéliomètres qui fonctionnent depuis 1924, a été installé (en mai 1925) le premier solarimètre enregistreur..... »

.....

.....

Pour illustrer la citation ci-dessus, nous donnons un des nombreux exemples que nous possédons de l'exagération de la radiation par les nuages.

Le 19 août 1927, le pyrhéliographe, par ciel fortement voilé, a marqué seulement 4 divisions Richard, soit environ 0,08 cal. gram. cm² min. d'insolation directe; dans les conditions ordinaires, notre solarigraphe aurait dû marquer (par ciel sans nuages et même soleil au zénith, le même jour, à la même heure) moins de 5 divisions Richard. Or, à ce moment, il dépassa plusieurs dizaines de divisions de l'échelle Richard, c'est-à-dire que l'intensité du rayonnement réfléchi était alors plusieurs fois plus grande que celle que l'on observe par un ciel sans nuages.

Cette exagération est due à l'énorme surface réfléchissante qui entourait alors le soleil; si par hasard des mesures directes avaient été faites au même moment, elles auraient certainement donné lieu aux mêmes considérations que nous venons d'indiquer dans la citation ci-dessus. Cette journée du 19 août, très nuageuse, a été également celle qui, de tout le mois, a montré la courbe la plus élevée au solarigraphe, particularité due à la radiation diffuse émanant des nuages.

Le tableau K (p. 153) montre les variations du pourcentage du rayonnement diffus avec la proportion de nuages.

TABLEAU K

Quelques exemples de mesures directes de la radiation sur surface horizontale et radiation diffusée

JOURS	HEURES	ÉTAT DU CIEL	RADIATION observée	LUMIÈRE diffuse (soleil masqué artificiellement	% du rayonnement diffusé
1927					
8 juin.....	9h5'	clair.	1cal02	0cal10	10 %
—	11 5	clair.	1 47	0 12	8
—	15 15	clair.	1 02	0 12	12
13 juin.....	9 25	nuageux.	1 11	0 19	17
—	11 40	nuageux.	1 52	0 25	17
21 juillet....	11	clair.	1 30	0 15	12
—	14 40	clair.	1 20	0 14	12
25 juillet ...	11	clair.	1 38	0 15	11
—	14 30	clair.	1 19	0 15	13
26 juillet ...	11	clair.	1 32	0 14	10
—	14	clair.	1 39	0 12	8 5
30 juillet ...	9	soleil caché.	0 32	0 26	81
—	9 1	soleil entouré de nuages.	0 90	0 26	29
—	9 30	nuageux.	0 86	0 14	16
—	11	nuageux.	1 36	0 19	14
—	14 30	soleil entouré de nuages.	1 25	0 16	13
—	14 31	sol. légèrt voilé, ent. de nuages.	0 77	0 16	21
—	15 15	soleil entouré de nuages.	1 09	0 15	14
—	15 16	soleil caché.	0 22	0 15	61

***

En examinant les courbes journalières, on trouve beaucoup d'exemples de protubérances. Sur la courbe solarigraphique du 14 août 1925, par exemple, que, faute de place, nous ne pouvons reproduire ici, on voit que l'exagération des radiations dues aux nuages permet d'atteindre et même de dépasser la valeur 0,9 du coefficient de transmission. Quand un

nuage masque le soleil, la courbe a une chute brusque, étant donné que seule la radiation diffuse (voûte céleste et nuages) agit, mais dès que les nuages dégagent le soleil, tout en restant aux environs, la montée de la courbe est également très brusque et dépasse largement le coefficient moyen de la journée.

Lorsque le soleil est masqué par un nuage dense, le pyrhéliographe tombe à zéro, tandis que le solarigraphe enregistre encore une radiation parfois importante.

Enfin, pour une journée à ciel complètement couvert, le pyrhéliographe reste au zéro, tandis que le solarigraphe donne une courbe représentant un nombre très appréciable de calories.

Ces constatations montrent tout l'intérêt que présente le solarigraphe pour la mesure de la radiation qui parvient réellement à la surface du sol et qui détermine la température de ce dernier; cette quantité de calories ne peut être déduite de la mesure de la radiation directe reçue par une surface normale.

En nous plaçant au point de vue de la mesure des calories reçues par le sol et par les végétaux, nous sommes amené à conclure que le solarigraphe nous donne des indications qui ne peuvent être déduites de la valeur de la radiation solaire directe, phénomène physique simple que vient compliquer le rôle de l'atmosphère dans la propagation de la radiation diffusée. Cette dernière relève considérablement la quantité de radiation reçue par le sol et la rend plus régulière en atténuant les variations journalières et les différences entre les saisons.

Cette constatation nous conduit à penser qu'il serait utile au point de vue de la physiologie et de l'écologie de mesurer également la quantité totale de calories (radiation directe du soleil et radiation diffusée par l'atmosphère) qui frappe les végétaux. Pour cela, il faudrait disposer d'une surface réceptrice punctiforme (une seule soudure de pile thermo-électrique) ou sphérique, recevant la radiation dans toutes les directions. Il est probable qu'un tel appareil, actuellement à l'étude, donnerait des différences très sensibles avec le pyrhéliographe et des résultats mieux en rapport avec la quantité de calories que reçoivent réellement les végétaux.

Tableau I

Juillet 1924 a Décembre 1927

VALEURS HORAIRES, OBTENUES PAR CIEL CLAIR,

EN $\frac{\text{CALORIES-GRAMMES}}{\text{CM}^2 \text{ MIN.}}$

DE L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT SOLAIRE A L'INCIDENCE NORMALE

EN TEMPS VRAI A L'ARIANA : $\varphi = 36° 49'$ N.

TABLEAU I

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
JUILLET 1924															
20		0.36		1.19			1.41	1.38	1.41			1.27	1.00	0.24	
21		0.70	1.03	1.22	1.35	1.46	1.43	1.46	1.46	1.43	1.35	1.24	1.08	0.75	
22		0.47	0.86	1.05	1.24	1.30	1.32	1.32	1.32	1.30	1.22	1.14	0.92	0.53	
23		0.64	0.95	1.16	1.22	1.24	1.27	1.27	1.24	1.27	1.22	1.00	0.84		
24		0.44	0.84	1.08	1.24	1.24	1.30	1.35	1.32	1.32	1.27	1.19	1.08		
25				1.24	1.30	1.35	1.43	1.38	1.22			1.19	1.11	0.84	
26		0.70	1.11	1.30	1.43	1.43	1.48	1.48	1.48	1.51	1.46	1.41	1.27	1.05	
28		0.67	1 03	1.14	1.30	1.35	1.38	1.41	1.38	1.35	1.30	1.22	1.03	0.67	
29		0.53	0.92	1.11	1.22	1.24									
30		0.47	1.05	1.24	1.38	1.46	1.46	1.43	1.43		1.32	1.22	1.05	0.58	
AOUT 1924															
13			0.73	0.97	1.05	1.22	1.27	1.16	1.22	1.16	1.03	0.92	0.18	0.03	
14		0.30		0.97	1.19	1.27	1.30	1.30	1.27	1.19	1.14	0.92	0.81	0.38	
17		0.27	0.81	1.03	1.24		1.41	1.41	1.46			1.30	1.16	0.73	
19		0.58	1.05	1.27	1.38		1.43	1.46	1.43	1.38	1.30	1.22	1.00	0.41	
24		0.41	0.89	1.11	1.24		1.35	1.35	1.38	1.32	1.27	1.14	0.89	0.36	
25		0.30	0.86	1.11	1.24	1.30	1.30	1.32	1.32	1.30	1.24	1.27	0.92	0.41	
28		0.21	0.86	1.11	1.27	1.38	1.38	1.43	1.41	1.38	1.38	1.27	1.08	0.47	
30		0.33	0.86	1.05	1.19	1.30	1.27	1.27	1.35			1.03	0.78	0.18	
SEPTEMBRE 1924															
1		0.33	0.86	1.08	1.24	1.32	1.35	1.35	1.35	1.30	1.27	1.22	1.00	0.47	
2		0.18	0.81	1.05	1.22		1.38	1.38	1.32	1.32	1.24	1.14	0.89	0.30	
5		0.03	0.58	0.89	1.08	1.14	1.27	1.30	1.30	1.24	1.11	0.86	0.27		
8			0.61	0.92	1.11	1.22	1 19	1.24	1.32	1.24	1.08	0.58	0.44	0.03	
9			0.53	0.89	1.08	1.19	1.32	1.35	1.22	1.27	0.97	0.78	0.58	0.06	
10			0.33	0.61	0.70	0.97	1.11	1.03	1.05	1.00				0.03	
13			0.61	0.86	1.08	1.19	1.24	1.22	1.24	1.22	1.14	0.97	0.64	0.09	
14				0.97	1.16	1.27	1 38	1.38	1.38	1.30	1.30	1.11	0.75	0.06	
15			0.58	0.89	1.11	1.32	1.38	1.41	1.32	1.27	1.22	1.00	0.67		
18			0.75	1.08	1.30	1.38		1.43	1.46	1.41	1.35	1.16	0.89	0.50	
19			0.70	1.08	1.24	1.32	1.32	1.46	1.43	1.38	1.27	1.16	0.89	0.38	
23			0.41	0.81	0.97	1.00	1.08	1.16	1.19	1.19	1.11	0.95	0.55		
25			0.38	0.84	1.00						1.14		0.47		
26			0.47	0.89	1.05	1.14	1.22	1.30	1.27	1.30	1.05				
30			0.41	0.86	1.11										
OCTOBRE 1924															
8			0.67	1.14	1.30	1.35		1.54	1.51	1.46		1.14	0.89		
9			0.75	1.19	1.35	1.41	1.41	1.41	1.43	1.41	1.32		0.67		
11			0.61	1.08	1.27	1.35	1.43	1.48	1.46	1.38	1.30	1.19			
15			0.41	1.08	1.30	1.41	1.48			1.35	1.24	1.08	0.84		
22				0.97	1.16	1.27		1.41	1.38	1.35					
23			0.24	0·92	1,16	1.30	1,38	1.41	1.32		1.19				

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
NOVEMBRE 1924															
2			0.18	0.97	1.22	1.32	1.32	1.46	1.41	1.46					
			0.18	1.08	1.38	1.43	1.46	1.46	1.38			1.22	0.67		
4			0.12	1.05	1.32	1.46	1.46	1.51	1.48	1.46	1.32	1.16	0.64		
5			0.33	1.05	1.32	1.46	1.46	1.57	1.57	1.48	1.27	1.16	0.38		
6						1.43	1.46	1.48	1.46	1.38					
8				1.03	1.30	1.43	1.46	1.46	1.46			0.97			
20				0.84	1.16	1.32	1.41	1.41	1.35	1.35					
DECEMBRE 1924															
1						1.32	1.38	1.38		1.27	0.97				
13				0.73	1.19	1.38	1.46	1.48	1.48	1.43	1.32	0.95			
28				0.81	1.22	1.41	1.48	1.51	1.48	1.46	1.32	1.03			
29				0.78	1.14	1.27	1.43	1.46	1.43						
JANVIER 1925															
1					1.22	1.27	1.41	1.43	1.38						
2				0.67	1.14	1.27	1.41		1.41	1.38	1.22	0.84			
3				0.86	1.24	1.38	1.51	1.46	1.46		1.19	0.95			
12				0.64	1.05	1.24	1.35	1.36	1.32	1.30	1.19				
20				0.70	1.08	1.27	1.30	1.41		1.30	1.16	1.03			
23				0.86	1.16	1.32	1.32	1.38	1.30	1.24	1.22	0.89	0.06		
25			0.03	0.92	1.24	1.38	1.43	1.41	1.38	1.32	1.19	0.95			
26					1.22	1.41	1.41	1.11	1.38	1.35	0.58				
29			0.03	1.00		1.35	1.41	1.38	1.35	1.24					
FEVRIER 1925															
1				0.92	1.22	1.41	1.46	1.51	1.46	1.38	1.22	1.00			
11			0.21	0.97	1.30	1.43	1.48	1.48	1.43	1.38	1.27				
13			0.18	0.97	1.24	1.35	1.46					0.97	0.41		
17			0.30	1.00	1.30	1.41	1.48	1.54	1.48			1.19	0.73		
18			0.55	1.16	1.24	1.38									
19			0.55	1.16	1.41	1.48	1.54	1.48	1.41	1.38	1.32	1.08	0.47		
22			0.58	1.14	1.35	1.43			1.43						
26			0.38	1.05	1.24		1.35	1.38	1.38		1.24				
27			0.47	1.14	1.32	1.41	1.46	1.43	1.38	1.35	1.35	1.19	0.73		
28			0.61	1.11	1.30	1.38	1.41	1.38	1.35	1.32	1.22	1.03	0.53		
MARS 1925															
1				0.36	0.81	1.05	1.16	1.32		1.32	1.27	1.08	0.95	0.06	
8									1.41		1.32	1.08	1.08	0.78	
9				0.73	1.08	1.30		1.43			1.41		1.08		
18					0.97	1.30	1.38	1.46	1.48	1.46	1.32	1.24	1.03	0.67	
22												1.11	0.86	0.38	
23				0.58	1.11	1.32	1.30	1.35	1.41	1.35	1.35	1.22		0.12	
29			0.06		1.14	1.16	1.38	1.41	1.43	1.46	1.35	1.32	1.16	0.89	0.09

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AVRIL 1925															
2			0.67	1.05	1.22	1.38	1.46			1.41	1.22	1.14	0.84	0.18	
6		0.24	0.97	1.35		1.48			1.46	1.32					
10		0.03	1.08		1.41	1.48	1.51	1.48	1.43	1.35					
17		0.58				1.48			1.41	1.43	1.35	1.19	0.89	0.44	
18		0.38	0.92	1.24	1.32	1.43	1.51	1.48	1.46	1.46	1.41	1.24	1.16	0.61	
19		0.53	0.89	1.00	1.35	1.46	1.43			1.43	1.35	1.24	1.00	0.18	
20			0.55	0.64	1.03	1.27		1.41	1.35	1.32		0.86			
22				0.64	0.81	0.89	0.92	0.89	0.89	0.81	0.70	0.55	0.41	0.09	
28				1.27	1.35	1.46	1.51	1.46	1.41	1.41	1.32	1.27	1.19	0.78	
MAI 1925															
1					1.14	1.32		1.32	1.24		1.22	1.30	1.16	0.75	
2				1.24	1.38	1.46	1.51	1.48	1.51		1.35	1.27	1.14	0.58	
3						1.41		1.43	1.38	1.43	1.32	1.27	1.14	0.75	
4			0.75	1.41	1.51	1.51	1.60	1.54	1.43	1.54	1.51	1.43	1.24	0.78	
5			0.53	0.92	1.30	1.27		1.27	1.19	1.30					
7				1.08	1.38	1.46	1.48	1.41	1.35						
16		0.56	0.88	1.05	1.13	1.18	1.22	1.25	1.25	1.22	1.18	1.11	0.94	0.60	
18					1.16	1.25	1.29	1.31	1.33		1.31	0.84	0.60		
21				0.92	1.16	1.24	1.20	1.24	1.24	1.18	1.09	1.07	0.90	0.58	
23				1.07	1.11			1.25	1.11		1.09				
27					0.99	1.20	1.24	1.25		1.25	1.24	1.13	1.01	0.71	
28	0.27	0.82	1.05	1.16	1.31	1.33	1.35	1.33	1.33	1.33	1.29	1.20	0.99	0.77	
29	0.16	0.77	0.99	1.13	1.13	1.22	1.27								
JUIN 1925															
1	0.21	0.56	1.01	1.16	1.24	1.27	1.29	1.33		1.25	1.22	1.11	0.96	0.67	
2	0.06	0.71	1.01	1.18	1.27	1.31	1.35	1.35	1.33		1.33	1.24	1.07	0.84	0.14
3	0.27	0.80	1.09	1.18	1.24	1.29	1.33	1.33	1.27						
4	0.08	0.84	1.13	1.24	1.33	1.36	1.40	1.40		1.36	1.29	1.20	1.07	0.73	0.04
5	0.29	0.69	1.01	1.14	1.22	1.25	1.31	1.31	1.29	1.20	1.16	1.03			
6		0.46	0.77	0.98	1.05			1.14	1.14		1.01	0.99			
7		0.50	0.80	0.98	1.11	1.20	1.24	1.22	1.22	1.22	1.20	1.09	0.92	0.60	
8	0.06	0.50	0.92	1.05	1.13	1.18		1.18							
9		0.56	0.86	1.01	1.11	1.18	1.22	1.24	1.24	1.24	1.18	1.07	0.92		
10		0.44	0.84	1.07	1.20	1.29	1.27	1.27				0.99			
11	0.04	0.60	0.66	1.03	1.16	1.24	1.25	1.29	1.29	1.26	1.16	1.14	1.01	0.96	0.21
12	0.35	0.84	1.09	1.24	1.31	1.35	1.36	1.36	1.38	1.35	1.29	1.24	1.07	0.73	
13	0.21	0.66	0.82	1.09	1.18	1.24	1.24	1.25	1.25	1.22	1.09	0.96			
16		0.52	0.58	1.01		1.18	1.22	1.24	1.16	1.16	1.14	1.07	0.90	0.64	0.04
17	0.06	0.48	0.80		1.05		1.20	1.25	1.22	1.18	1.07	0.96	0.78		
18	0.04	0.52	0.80	0.94	1.01	1.09	1.14	1.16	1.16	1.05	1.07		0.80		
19	0.12		0.77	0.99			1.14	1.13	1.16	1.16	1.11	1.01	0.80		
20	0.16	0.66	0.98	1.14	1.20	1.24	1.27	1.25	1.22	1.20	1.18	1.07	0.93	0.62	
21	0.25	0.58	0.88		1.13	1.18	1.20	1.22	1.21	1.13	1.05	0.96	0.71		
22	0.10				1.11		1.24	1.24	1.25		1.24	1.16	0.96	0.66	
23	0.35	0.78	0.99	1.13	1.16	1.24	1.27	1.29	1.29	1.20	1.11	0.92	0.80		
28	0.21	0.78	1.01	1.24	1.31	1.36	1.40	1.40	1.38	1.35	1.25	1.16	1.03	0.73	
29		0.69	0.90	1.16	1.27	1.33	1.38	1.35			1.16	1.01	0.98		
30	0.12	0.67	0.96	1.24	1.	1.27	1.33		1.29	1.25	1.20	1.14	0.98	0.73	

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
JUILLET 1925															
1	0.12	0.64					1.25	1.20	1.22	1.16	1.07	1.01			
2	0.06	0.62	0.94	1.11	1.25		1.42	1.46	1.46	1.36	1.31	1.16	0.98	0.58	
3	0.21	0.73	1.07	1.20	1.31	1.36	1.40	1.36	1.42	1.35	1.27	1.11	0.92	0.62	0.04
4	0.04	0.62	0.90	1.09	1.20	1.25	1.27	1.25	1.27	1.18	1.09			0.29	0.02
6							1.16	1.20	1.16	1.13	1.05	0.90	0.71	0.37	
7	0.19	0.66	0.94	1.07	1.16	1.22	1.29	1.31	1.29	1.16	1.09		0.96	0.71	0.06
8	0.23	0.86	1.09	1.27	1.33	1.40	1.42	1.52	1.50	1.48	1.40	1.29	1.14	0.86	
9	0.64	1.13	1.29	1.44	1.54	1.54	1.50	1.48	1.46	1.35	1.24	1.14	0.98	0.52	
11		0.31	0.75	0.96	1.14	1.22	1.29	1.29		1.18	1.20	1.13	0.96	0.78	0.27
17	0.08		0.88	1.13	1.20	1.16	1.22	1.25	1.20	1.16	1.07	0.96	0·60		
20			1.01	1.14	1.22	1.27	1.29	1.29	1.25	1.16	1.11	0.98	0.78	0.31	
21			0.84	1.11	1.22	1.25	1.29	1.31	1.27	1.22	1.16	1.05	0.88	0.60	
22		0.64	1.01	1.20	1.27	1.31	1.33	1.31	1.29	1.24	1.14	1.01	0.80	0.48	
23		0.48	0.77	0.98	1.09		1.18	1.18	1.16	1.05	0.94			0.46	
25		0.60	0.90	1.05	1.13	1.18	1.18	1.18	1.20	1.16	1.05	0.88	0.66	0.21	
28		0.44	0.78	0.98	1.07	1.11	1.16	1.14	1.13	1.09	0.96	0.84	0.66	0.31	
29		0.40	0.73	0.88	0.98	1.09	1.13	1.11	1.09	1.05	0.98	0.84	0.60	0.21	
30		0.39	0.84	1.03	1.14	1.22		1.20	1.20	1.14	0.99	0.80	0.64	0.35	
AOUT 1925															
1			0.67	0.98	1.01	1.09	1.14	1.16	1.16	1.13	1.05	0.92	0.73	0.39	
3					1.07	1.16	1.22	1.20	1.14	1.13	1.07	0.94	0.77	0.35	
4		0.58	0.80	0.96	1.03	1.05	1.07	1.05	1.01	0.96	0.90	0.78	0.60	0.35	
5		0.44	0.69	0.92	0.99	1.07	1.07	1.07	1.05	1.01	0.90	0.78	0.56	0.21	
6		0.39	0.73	0.98	1.09	1.18	1.20	1.20	1.16	1.14	1.09	0.99	0.84	0.52	
7		0.54	0.94	1.14	1.25	1.29	1.31	1.29	1.27	1.24	1.16	1.07	0.88	0.48	
8		0.62		1.13	1.24	1.29	1.33	1.35	1.31	1.29	1.20	1.11			
9				1.03	1.28	1.25	1.27	1.29	1.29	1.27	1.24	1.13	0.94	0.69	
10			0.98	1.16	1.24	1.31	1.31	1.31	1.27	1.24	1.18	1.09	0.94	0.62	
11		0.69	0.98	1.13	1.13	1.20	1.22	1.22	1.16	1.13	1.07	0.96	0.77	0.40	
12		0.46	0.80	0.96	1.01	1.03	1.03	1.03	1.01	0.96	0.88	0.77	0.58	0.14	
13		0.40	0.78	0.96	1.07	1.13	1.14	1.16	1.14	1.09	1.01	0.94	0.60		
14		0.35	0.75	0.92	0.98	1.14	1.14	1.18	1.16						
15		0.35	0.78	1.03	1.18	1.24	1.27	1.27	1.27	1.25	1.22	1.09	1.11	0.60	
16		0.40	0.78	0.94	1.01	1.07	1.11	1.13	1.11	1.03	0.98	0.88	0.67		
17		0.25	0.75	1.05	1.16	1.24	1.27	1.24	1.25	1.22	1.20	1.13	0.96	0.71	0.02
18			0.84	1.01	1.14	1.20	1.22	1.24	1.20	1.14	1.01	0.96	0.73	0.27	
19		0.48	0.88	1.05	1.13	1.18	1.18	1.16	1.14	1.09	1.01	0.86	0.62	0.21	
20			0.82	0.94	1.05	1.09	1.13	1.09	1.01						
21		0.12	0.54		0.90	0.99	1.05	1.07	1.07	1.03	0.98	0.80	0.56	0.10	
22		0.21		1.01	1.16			1.27	1.24	1.13	0.99	0.82	0.35		
24		0.23	0.86	0.99	1.20	1.24	1.25		1.24	1.20	1.18			0.31	0.02
25				0.69		0.90						0.82		0.35	
26		0.33	0.75		1.09	1.22	1.22	1.20	1.20	1.13	1.05	0.88	0.64	0.31	
27		0.21	0.67	0.80	0.92		1.09	1.11		0.99	0.94	0.78		0.14	
29		0.27	0.62	0.90	0.99	1.05	1.11	1.07	1.05	0.94	0.90	0.69	0.50		
30			0.48	0.71			0.98	0.94	0.92	0.84	0.69				
31		0.27	0.64	0.78	0.94	0.99		0.98	0.94	0.84	0.73	0.62	0.39		

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SEPTEMBRE 1925															
1		0.33	0.67	0.86	0.99	1.05	1.07	1.03	1.01	0.96	0.90	0.78	0.58	0.08	
2		0.39	0.73	0.92	1.05	1.09	1.09	1.11	1.07	6.99	0.92	0.84	0.69	0.12	
5		0.27	0.69	0.84	0.99	1.01	1.11	1.09	1.07	1.01	0.96	0.78	0.60		
7			0.78	1.05	1.18	1.22	1.24	1.20	1.14	1.05	0.96	0.88	0.62	0.10	
8		0.23	0.67	0.80			1.18	1.27			1.01	0.89	0.46		
9							1.09	1.09	1.05	0.99					
14					1.18	1.27				1.22	1.16	0.96	0.69		
15		0.29	0.94	1.18	1.31	1.36	1.38	1.42	1.35	1.25	1.16	0.98	0.69		
16			0.60	0.99	1.05	1.22	1.25	1.25	1.22	1.16	0.99	0.75			
18		0.25	0.75	0.88	1.05	1.11	1.13	1.11	1.11	1.03	0.92	0.78	0.54		
19		0.12	6.64	0.82	0.96	1.01	1.03	1.01	1.01	0.90	0.80	0.66	0.42		
21				0.73			0.92	0.88	0.84	0.90	0.78	0.54			
22						0.82	1.18	1.20	1.18		1.05				
23					1.11	1.18	1.20			1.07		0.73			
OCTOBRE 1925															
1				1.05	1.25		1.31	1.35	1.35	1.29	1.20				
2			0.73	1.07	1.22	1.29	1.33	1.35	1.33	1.29	1.14	0.90			
11			0.62	0.98	1.13	1.27	1.33	1.35	1.35	1.27	1.14	0.86	0.19		
14			0.62	0.98	1.29	1.36	1.33	1.31	1.36	1.36					
16				1.05	1.20	1.38	1.44	1.48	1.46	1.31	1.22	0.96			
18					1.20	1.33			1.31	1.18	1.07	0.82	0.31		
19			0.66	1.11	1.31	1.40	1.42		1.38	1.27	1.14	0.94	0.31		
20			0.66	1.11	1.27	1.36	1.42		1.40	1.35	1.18	0.75	0.37		
21			0.50	1.01	1.25	1.35	1.40	1.36	1.31	1.25		0.78	0.31		
22			0.62	1.09	1.29	1.38	1.44	1.46	1.40	1.35	1.24	0.99	0.54		
25					1.22	1.35	1.36	1.36	1.36	1.27	1.14	0.92			
28				0.75	1.05	1.18	1.13			1.22	1.05				
31				0.98	1.16		1.33	1.44	4.42	1.36		0.96	0.27		
NOVEMBRE 1925															
5				0.71	0.99	1.07	1.13			0.98		0.60			
8				0 62	0.86	1 14	1.20	1.20	1.18	1.07		0.78			
15				0.66	1.03	1.20	1.27	1.29	1.27	1.20	1.03	0.71			
16				0.88		1.40	1.50	1.48		1.36		0.84			
17					1.35	1.50	1.59	1.61	1.56	1.40	1.27				
18					1.24	1.40	1.48	1.38			1 25	0.96			
21				0.90	1 22	1.38	1.46	1.48	1.44	1.36					
23				0.86	1.18	1.31			1.40						
30					1.01	1.18	1.29	1.38	1.36	1.24					
DECEMBRE 1925															
1				0.82	1.20	1.38	1.42			1.38	1.27	0.96			
2								1.36	1.35	1.27	1.13	0.78			
8				0.77			1.36	1.44	1.38	1.31	1.13				
12				0.77		1.22	1.29	1.29							
18				0.62	1.03	1.20	1.25								
19									1.46	1.40	1.18	0.80			
21				0.80	0.99	1.27	1.35	1.35	1.29	1.22	1.01				
22				0.48	0.77	0.98	1.22	1.20	1.07						
27				0.73	1.09	1.22		1.35	1.27	1.24	1.05	0.66			
30				0.86	1.20	1.35	1.42	1.42	1.40	1.35	1.20	0.82			
31				0.78	1.14	1.25	1.31	4.27	1.25	1.18	0.98	0.67			

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
JANVIER 1926															
1					0.94	1.20	1.25	1.31	1.27	1.22	1.03	0.64			
2				0.80	1.11	1.25	1.33	1.33	1.27	1.14	0.94	0.60			
3						1.13	1.13			1.11					
6				0.73	1.18	1.35	1.35	1.44	1.46	1.36	1.13	0.77			
7				0 64	1.07	1.29	1.35	1.38	1.38	1.24	1.11	0.78			
8				0.73	1.01	1.31	1.36	1.38	1.40	1.31	1.01	0.69			
9				0.66	0.98	1.11					1.01	0.66			
10				0.73	1.03										
11				0.88	1.18	1.35	1.42	1.42	1.42	1.38	1.20	0.80			
12				0.69		1.31	1.42	1.44	1.29	1.38	1.24	0.75			
17									1.31	1.24	0.98				
20									1.36	1.27	1.11				
23			0.35	0.77	1.14	1.22	1.25	1.38	1.46	1.36	1.24	0.92			
24				1.07	1.25	1.42	1.52	1.38							
28				0.77	1.05	1.22	1.29	1.29	1.36	1.29	1.13	0.88			
29			0.35	1.07	1.25		1.38		1.35	1.14		0.77			
30				0.96	1.24	1.36	1.44	1.44	1.36	1.27	1.22	0.98	0.12		
FEVRIER 1926															
2				0.69	1.35	1.36	1.46	1.48	1.44	1.16	0.96	0.86			
5			0.27	0.98	1.20	1.33	1.38	1.42	1.42	1.35	1.24	0.96			
6					1.13	1.36	1.38	1.44	1.40	1.38	1.25	0.96			
9				0.98	1.29	1.36	1.50	1.50	1.25						
12					1.16	1.20	1.46	1.46			1.18	0.80	0.21		
18							1.44	1.40			1.36	1.16	0.67		
19						1.35	1.40	1.40	1.40	1.42	1.27	1.03	0.46		
20			0.62	1.13	1.38	1.50	1.57	1.59	1.59	1.54	1.36	1.09	0.44		
21					1.05	1.46	1.52		1.52	1.46	1.38	1.16	0.58		
22			0.64	1.18	1.42	1.54	1.59	1.59	1.54	1.52	1.44	1.22	0.39		
23			0.69	1.18	1.36	1.48	1.54	1.56	1.56	1.48	1.38	1.13	0.46		
26			0.37	0.82	1.13	1.29	1.36	1.38							
MARS 1926															
1			0.37	0.88	1.13										
2			0.52				1.33			1.29		0.84			
6			0.39	1.05	1.18	1.25	1.44	1.48	1.35	1.25	1.16				
8			0.40	0.80	1.03	1.20			1.29	1.25	1.14	0.90	0.37		
9			0.67	1.09	1.27	1.33		1.42	1.40	1.27	1.27	1.09	0.58		
10			0.71	1.14				1.46	1.44	1.38		0.92	0.48		
11								1.48							
12			0.56	1.03	1.29	1.44	1.50	1.50	1.54	1.46	1.24				
13			0.60	1.05						1.38					
14			0.88	1.31	1.50	1.56	1.56	1.57	1.50	1.38		1.03	0.62		
15			0.88	1.24	1.35	1.42	1.48				1.16	1.05			
16			0.46	1.13	1.36	1.54	1.61	1.59	1.46	1.33	1.13	0.78			
17			0.98	1.27	1.44	1.50	1.56	1.56	1.50	1.42	1.31	1.14	0.75		
22						1.48	1.54		1.56	1.50	1.36	1.18	0.92		
25			0.90	1.25	1.40	1.46	1.54	1.54	1.48		1.40	1.11	0.92		
26			0.94		1.36	1.46	1.46	1.44	1.10		1.33		0.86		

TABLEAU I (*suite*)

Dates \ Heures	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AVRIL 1926															
3		0.14	0.77	1.03	1.14	1.25	1.31		1.35	1.33	1.29	1.16	0.80		
5		0.21	0.82	1.14	1.27	1.38	1.46	1.42	1.50	1.50	1.44	1.27	0.99	0.27	
6		0.62	1.11			1.50	1.54	1.54	1.46	1.46					
7			0.82	0.98	1.25	1.42	1.48	1.48	1.48	1.44	1.35	1.20	0.94		
8								1.48	1.48	1.16	1.27				
10				1.27	1.40			1.50		1.48	1.33	1.24	0.94		
25		0.40	0.94	1.31	1.46	1.52	1.52	1.56		1.52	1.26				
26		0.54	1.05	1.27	1.36	1.46	1.50	1.52	1.48	1.36	1.35	1.22		0.42	
27		0.44	0.90	1.07	1.16	1.27	1.31	1.33		1.38	1.25	1.16	0.88	0.39	
28		0.16	0.64	0.94		1.13	1.20	1.20	1.18			0.98	0.64		
MAI 1926															
1									1.27	1.27	1.25	1.18	1.01		
6		0.60	0.98	1.16	1.27	1.35	1.36		1.40	1.35	1.33	1.27	1.09	0.69	
7		0.54	0 94	1.11	1.22	1.25	1.36	1.38	1.36	1.29	1.25	1.16	0.94	0.56	
8			0.96	1.16		1.35	1.36			1.36	1.25				
9								1.25	1.24	1.18	1.14	0.94	0.58	0.21	
11					1.22	1.33		1.44	1.46	1.42	1.36	1.22	1.05	0.64	
12								1.42	1.44	1.42	1.38	1.29	1.03		
13				1.13	1.16	1.29	1.35	1.35	1.36		1.27		0.98	0.60	
14			0.90	1.13				1.35			1.07			0.64	
16		0.69	1.13	1.35	1.36	1.50	1.56	1.57	1.57	1.50	1.44		1.16	0.82	
26				1.07	1.20	1.35	1.38	1.40					1.09	0.75	0.02
27	0.02	0.69	1.01	1.20	1.31	1.36	1.38	1.40			1.29			0.77	0.14
28	0.06	0.62				1.29	1.36		1.38	1.35	1.29	1.20	1.07	0.80	0.12
29	0.02	0.69	1.03	1.18	1.29	1.40		1.48			1.40	1.29	1.18		0.02
30					1.31										
31	0.16	0.84	1.14	1.27	1.35	1.38	1.44	1.46	1.50		1.38	1.31		0.77	0.04
JUIN 1926															
1		0.27	0.66	0.96	1.09	1.13									
2				1.25	1.35	1.38	1.38	1.35	1.29	1.29					
3												1.13	1.05	0.75	
5		0.39		0.94	1.03	1.09			1.11	1.07	1.07	0.88			
6		0.39	0.71	0.94	1.14	1.78	1.22	1.22	1.22	1.25	1.14	0.99	0.77	0.48	0.02
7		0.40	0.77	1.07	1.18		1.29	1.40	1.46	1.42	1.38	1.31	1.22	0.98	0.23
8	0.14	0.78	1.03	1.11					1.36	1.33	1.29	1.20	1.05	0.90	0.10
9	0.04	0.69	1.13	1.22	1.31	1.36	1.38	1.44	1.44	1.40	4.37	1.22	1.11	0.82	0.19
10	0.08	0.67	1.03	1.18	1.25	1.33	1.35	1.35	1.35	1.33			0.86		
11	0.08	0.58	0.98	1.14	1.25	1.29	1.38	1.38	1.40	1.38	1.31	1 24	1.11	0.82	0.04
12	0.12	0.66	0.96	1.14	1.24	1.33	1.36	1.36	1.35	1.33	1.25	1.09	0.96		
14	0.04	0.40		1.03	1.22	1.31	1.35	1.40	1.44	1.42	1.40	1.35	1.22	0.90	0.04
15	0.21	0.80	1.09	1.18	1.25		1.36	1.44	1 40	1.42	1.40	1.36	1.18	0.90	0.10
16	0.14	0.80	1.07	1.18	1.24				1.31	1.29	1.25	1.16	0.98	0.71	0.02
18	0.16	0.64	1.07	1.22	1.31	1.40	1.46	1.48		1.38	1.29	1.14	0.90	0.27	
22	0.12	0.77	1.03	1.18	1.25	1.35	1.40		1.40	1.38	1.31	1.24	1.11	0.90	0.31
23	0.21	0.78	1.07	1.25	1.25	1.27	1.33	1.36	1.35	1.33	1.29	1.18	1.09	0.82	0.02
24	0.19		0.96	1.03	1.09	1.22	1.24	1.36							
26								1.24	1.22						
27						1.18	1.25	1.29	1.22						
28	0.12	0.56	0.86	1.11	1.18			1.25			1.16	1.16			
29	0.06	0.60	0.88	1.03		1.31		1.36	1.31	1.29	1.25	1.20	1.13	0.90	0.35
30	0.27	0.78	1.07	1.20	1.25	1.31	1.35	1.31	1.33	1.27	1.25	1.16	1.09	0.73	0.04

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
JUILLET 1926															
2					1 27	1.38		1.36	1.38	1.36		1.13	0.99	0.80	0.12
3	0.25	0.75	0.98	1.11	1.16	1.24	1.25	1.25	1.22			1.03			
4					1.14		1.24			1.16					
5		0.29	0.67	0.80	0.94	1.01	1.05	1.09	1.11	1.05		0.88	0.67	0.44	0.02
7		0.31	0.75	1.03	1.14	1.20	1.29								
8	0.16	0.78	1.09	1.22								1.22			
9		0.52	0.90		1.24			1.38	1.40	1.35	1.31	1.22	1.03	0.69	0.04
11	0.06	0.58	0.90	1.07	1.16	1.20	1.25	1.29	1.33	1.27	1.24	1.16	1.01	0.67	0.02
12		0.66	0.98	1.14	1.22		1.27	1.27	1.25	1.20	1.22	1.11	0.94	0.66	
13	0.21	0.77	1.01	1.11	1.13	1.25	1.29	1.27	1.24	1.14	1.11	1.07	1.07	0.54	
14	0.04	0.66	0.96	1.07			1.13	1.18					0.73	0.50	
15	0.08	0.73	1.11	1.22		1.33	1.35	1.36	1.38	1.35	1.31	1.24	1.11	0.80	
16	0.06	0.73	1.07	1.24	1.35	1.38	1.42	1.42	1.42	1.38	1.36	1.27	1.13	0.84	
17	0.04	0.78	1.05	1.20	1.27	1.38	1.36	1.42	1.40	1.38	1.35	1.25	1.11	0.80	0.02
18		0.69	0.98	1.13	1.25	1.29	1.35	1.33	1.33	1.33	1.31	1.24	1.07	0.78	0.23
19				1.09	1.24	1.29	1.33	1.31	1.29	1.22	1.13	1.05	0.82	0.48	
20		0.40	0.77	0.98	1.07	1.13	1.20	1.22	1.22	1.16	1.09	0.96	0.75	0.44	0.02
21			0.75	0.94	1.09	1.14	1.20	1.22	1.18	1.14	1.13	1.03	0.82	0.50	
22	0.04	0.71	1.03	1.18	1.27	1.33	1.38	1.40	1.42	1.40	1.33	1.24	1.05	0.77	
23	0.10	0.77	1.03	1.20	1.25	1.33	1.40	1.40	1.40	1.35	1.36	1.25	1.14	0.86	
24	0.04	0.77	1.05	1.20	1.27	1.33	1.35	1.36	1.36	1.33	1.33	1.24	1.07	0.71	
25			1.03	1.22	1.35	1.42	1.44	1.44	1.40	1.35	1.25	1.13	0.92	0.60	
26	0.02	0.64	0.94	1.11	1.22	1.25	1.29	1.29	1.27	1.22	1.14	1.03	0.82	0.46	
27		0.62	0.94	1.07	1.18	1.22	1.22	1.24	1.20	1.14	1.09	0.96	0.75	0.33	
29		0.56	0.90		1.22			1.27	1.27	1.25	1.18	1.05	0.84	0.46	
30		0.62	0.86		1.24			1.31		1.31	1.11	1.11	1.03	0.75	
31		0.69	0.99	1.14	1.20	1.25						1.07	0.86		
AOUT 1926															
2										1.31	1.20	1.07	0.94	0.52	
3		0.48	0.90	1.05	1.13	1.14	1.16	1.25	1.24	1.18	1.14	1.07	0.86	0.56	
4		0.54	0.92	1.13	1.20	1.27	1.33	1.35	1.27	1.20	1.11	1.01	0.78	0.46	
5										1.16	1.07	0.94	0.78	0.50	
6		0.40	0.75	0.90	0.98	1.07	1.11	1.14	1.09		0.96	0.88	0.78	0.50	
7		0.56	0.90	1.11	1. 8	1.18	1.16				1.05	0.94	0.73	0.39	
8		0.56	0.92	1.07	1.14	1.18	1.24	1.18			1.09	0.96	0.80	0.52	
9		0.52	0.96	1.13	1.14	1.24	1.25	1 31	1.29	1.31	1.27	1.16	0.98	0.56	
10		0.58	0.88	1.05	1.14	1.16	1.22	1.22	1.22	1.20	1.18	1.11	0.98	0.64	
11		0.62	0.99	1.14	1.25	1.33	1.35	1.35	1.33	1.33	1.27	1.09	0.86	0.44	
12		0.31	0.62	0.80	0.90		0.92	0.96	0.96	0.94	0.84	0.73	0.50		
13		0.40	0.80	0.98	1.03	1.07	1.11	1.09	1.07	1.01	0.96	0.88	0.69	0.31	
14		0.29	0.67	0.88	1.03	1.13	1.14	1.14	1.14	1.11	1.05	0.92	0.67	0.25	
15											1.07	1.03	0.88	0.46	
16		0.40	0.77	1.03					1.24	1.24	1.18	1.07	0.78	0.42	
17		0.35	0.88		1.22	1.27	1.27	1.29	1.29	1.27	1.22	1.11	0.75	0.48	

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AOUT 1926 (*suite*)															
18		0.48	0.84			1.24	1.29	1.31	1.25	1.25	1.20	1.09	0.92	0.56	
19		0.44	0.88	1.05	1.16	1.18	1.20	1.25	1.27	1.22	1.13	1.03	0.84	0.42	
20		0.27		0.94				1.27	1.25	1.24	1.18	1.09	0.84	0.52	
21		0.39	0.80	1.03	1.13	1.22	1.25	1.29	1.31	1.25	1.20	1.05	0.77		
22		0.42	0.84	1.03	1.14	1.22	1.22	1.24	1.24	1.22	1.18	1.09	0.86	0.39	
23		0.39	0.80	1.07	1.16	1.25	1.25	1.29	1.27	1.25	1 22	1.13	1.01	0.52	
24		0.27	0.73			1.13	1.16	1.14	1.13	1.11	1.13	0.94	0.71		
25					0.73	1.13	1.22	1.27	1.24	1.16	1.09	0.92	0.69		
26		0.25	0.77	1.01	1.07	1.18	1.24	1.27	1.24	1.20	1.09	0.94	0.75	0.21	
27		0.21	0.62	0.86	0.98		1.11		1.13	1.13	1.01	0.90	0.62		
29		0.23	0.66	0.90	1.03	1.14	1.16	1.13	1.13	1.09	0.98	0.86	0.62	0.19	
30		0.31	0.75	0.98	1.05	1.13	1.16	1.18	1.18	1.11	1.03	0.92	0.62	0.16	
31		0.21	0.77	1.01	1.11	1.16	1.20	1.20	1.18	1.11	1.05	0.86	0.67	0.14	
SEPTEMBRE 1926															
1		0.19	0.64	0.84		1.01									
9		0.29	0.84			1.27			1.25	1.18			0.66	0.02	
10			0.75			1.13	1.16	1.16	1.07	1.07	0.96	0.77	0.54	0.02	
11									1.14			0.77	0.50		
13		0.10	0.71		1.03				1.05		0.94	0.75			
14		0.02	0.56			1.07		1.13	1.14	1.16	1.03	0.80	0.44		
15				0.86			1.18			1.11	1.07	0.92	0 58		
16			0.60	0.88							1.01	0.90	0.69		
17		0.25	0.80	1.03		1.22		1.22	1.22	1.20	1.22	1.07	0.77		
18			0.67	0.96	1.09	1.18	1.16	1.18	1.14						
19		0.14	0.75	1.03	1.14	1.20	1.22	1.25	1.24	1.14		0.84			
20				0.98	1.07	1.16		1.22	1.25	1.24	1.13	0.94			
21		0.06	0.62		1.05	1.14	1.18	1.24	1.22	1.16	1.13	0.99	0.75		
22			0.50	0.86		1.03	1.11	1.18	1.16	1.14		0.86	0.48		
23			0.46	0.77	0.94	1.03			1.07	0.98	0.78	0.42			
24			0.66	0.98	1.14	1.29	1.36	1.31	1.33	1.33	1.22	1.07	0.75		
25		0.04	0.73	1.01	1.16	1.25	1.27	1.29		1.20	1.09	0.94	0.80		
26			0.56	0.86	0.98	1.11	1.14		1.13	1.13	1.03	0.69	0.37		
28		0.04	0.78	1.05	1.18	1.25	1.29	1.29	1.27	1.24	1.14	0.92			
30				1.09	1.24		1.33			1.20	1.24				
OCTOBRE 1926															
1			0.60			1.20									
2			0.50	0.84											
3			0.71	1.01	1.16	1.27	1.33	1.35	1.33	1.29	1.22	0.99	0.50		
4			0.60	0.90	1.13	1.18	1.16	1.20	1.22	1.16	1.09	0.90			
5			0.58	0.90	1.11	1.20	1.24	1.27	1.24	1.18	1.09	0.86			
6			0.52	0.96	1.13	1.25	1.29	1.33	1.33	1.29	1.20	1.01	0.60		
7			0.62	0.96	1.16	1.25	1.31	1.31	1.31	1.29	1.20	1.01	0.50		
8			0.62	1.01	1.16	1.25	1.25	1.31	1.29	1.24	1.16	0.98	0.52		
9			9.52	0.90	1.07	1.13	1.16	1.20	1.20	1.16	1.05	0.88	0.40		
11			0.44	0.82	1.01		1.13	1.13							
13			0.31	0.77	0.98	1.11	1.16	1.20	1.16	1.13	1.03	0.78	0.37		
14			0.58	0.98	1.16			1.31		1.22	1.14	0.92	0.48		
15			0.39	0.84	1.05		1.16	1.22	1.22	1.16	1.11	0.92	0.42		
16			0.52	0.94	1.11	1.20	1.25	1.27	1.24	1.18	1.11	0.90	0.42		
17					1.11			1.29		1.22	1.13	0.94	0.46		
18			0.42	0.92	1.13	1.20					1.16	0.98			
19			0.42	0.88	1.05	1.18	1.25	1.25	.24	1.20	1.11	0.86	0.35		
20			0.29	0.86	1.09	1.18	1.18	1.22	1.24	1.20	1.09	0.86			
21							1.24	1.27	1.25	1.22	1.13	0.90			
23				0.54	0.88	1.01		1.18							
26			0.33	0.94	1.09	1.16	1.22								
28						1.03	1.11	1.13	1.09	1.05	0.92				
29				0.82											

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
NOVEMBRE 1926															
3			0.31	0.90	1.09	1.20	1.24	1.24	1.25	1.22	1.09	0.88	0.19		
4				0.86	1.14	1.27	1.33	1.35	1.33	1.27	1.16	0.86	0.21		
6											1.18				
8											1.13	0.92			
10												0.90			
15							1.22	1.24			1.03	0.78			
16				0.69	1.03	1.20	1.24	1.25	1.25	1.20	1.07				
17				0.73	1.01										
20				0.75	1.07	1.22	1.29	1.29	1.31	1.27	1.16	0.88			
21				0.67	1.07	1.14	1.25		1.24						
25					0.94	1.11									
26				0.78	1.11	1.24	1.25	1.31							
27						1.24	1.29				1.07				
28					1.01	1.18									
29					1.07	1.18	1.25								
30				0.84	1.14	1.25		1.35							
DECEMBRE 1926															
2				0.86	1.14	1.25	1.29	1.31	1.27			0.78			
11					0.92	1.11	1.16			1.13	0.94	0.60			
12					0.88		1.20	1.20				0.54			
13				0.67	1.05	1.22	1.27	1.29	1.25	1.24	1.05	0.73			
14				0.66	1.05	1.20	1.25	1.27	1.29	1.24	1.11	0.77			
15					1.22	1.36	1.42	1.50	1.46	1.40	1.25				
16					1.07	1.24	1.27	1.33	1.24		1.11				
17												0.73			
18						1.18	1.25				1.01				
22						1.13	1.24								
28				0.88	1.20	1.33	1.36	1.40	1.40	1.33	1.13	0.73			
31					0.90	1.07				1.14	0.96	0.58			
JANVIER 1927															
1				0.88	1.18	1.31		1.36	1.33						
2										1.27	1.14				
13										1.38	1.31	0.98			
18						1.24	1.29				1.13				
24						1.33	1.40	1.42	1.40	1.31	1.27	0.86			
25				0.77	1.24	1.40	1.44								
26					1.24	1.40	1.52	1.54							
29										1.22	1.14	0.82			
30			0.48	0.98	1.16	1.42	1.50	1.48	1.50						

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
FÉVRIER 1927															
1						1.35		1.50					0.12		
5						1.29	1.36								
7												0.86			
8					1.16	1.38	1.42	1.56	1.33						
9				0.88	1.18	1.31	1.40	1.46		1.35					
10					1.13						1.24	0.94	0.33		
11			0.19	0.98	1.27	1.38	1.46	1.48	1.46	1.40	1.27	1.22	0.50		
12			0.40	0.96	1.20	1.33	1.40					0.96	0.23		
14												0.96	0.21		
15							1.38			1.33					
16				1.05	1.25	1.38	1.44	1.48		1.42	1.27	1.07	0.40		
17			0.40	1.03	1.25	1.36	1.40	1.44	1.40				0.29		
18			0.33	1.03	1.31	1.42	1.46	1.50	1.44		1.29	1.03	0.60		
19			0.42	1.09	1.35										
21			0.23										0.39		
22			0.40	0.98	1.16					1.38	1.27	1.07	0.58		
25									1.42						
26			0.60	1.05					1.42	1.35	1.27	1.03	0.58		
28			0.71	1.16	1.35	1.48	1.48	1.54		1.44	1.31	1.20	0.78		
MARS 1927															
1										1.33		0.94	0.40		
4			0.73	1.13	1.33	1.38	1.50	1.54	1.52	1.48	1.40	1.22	0.78		
5			0.77	1.13	1.25	1.38	1.40								
7			0.71	1.14	1.31	1.42			1.48	1.38	1.65	1.07			
9			0.73		1.33	1.44	1.48	1.50	1.46	1.40	1.33	1.20			
10												1.03	0.78		
14			0.71										0.64		
15			0.80	1.13	1.25	1.32		1.42	1.40	1.35	1.31	1.07	0.77		
16												1.03	0.75		
17			0.77	1.11	1.25	1.36									
19			0.71							1.42		1.13			
21			0.80	1.20	1.36	1.44	1.54	1.54	1.48	1.42	1.33	1.18	0.82		
22			0.94	1.25	1.40	1.50	1.54	1.59	1.56	1.48	1.36	1.16	0.92		
23			0.92												
26			0.82	1.22	1.38	1.42	1.48	1.48	1.48	1.42	1.33	1.14	0.92	0.21	
28						1.46	1.56						0.96		
29							1.56								

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AVRIL 1927															
1			0.75				1.38		1.36		1.24	1.11	0.82		
2			0.75	1.05		1.31	1.33				1.14				
3			0.66	1.03		1.36	1.44	1.42	1.40	1.36	1 27	1.13	0.88	0.23	
4		0.42	0.77	1.16	1.38	1.42	1.48	1.50	1.50	1.48	1.44	1.29	0.99	0.37	
5		0.46	1.09	1.33	1.46	1.52	1.57			1.46	1.38	1.20	0.92		
6		0.42	1.03	1.27	1.40	1.48	1.52	1.52	1.48	1.44	1.38	1.27	1.01	0.44	
7		0.52	1.05	1.27	1.38	1.46	1.48	1.46			1.31	1.14	0.90	0.29	
8		0.54	1.05	1.27	1.36	1.44	1.46	1.44	1.42	1.36	1.22	1.05	0.78		
9		0.21	0.80	1.09	1.20	1.27	1.29	1.31	1.25	1.22		0.96			
10				0.99	1.16	1.20	1.25	1.22	1.18	1.16	1.05	0.88	0.54		
11		0.27	0.42	1.13	1.24			1.38	1.40	1.27	1.14	0.94			
13				0.86	1.05	1.13					1.05	0.90			
15											1.13	0.98	0 75	0.23	
17			0.94												
19											1.27	1.16	0.90		
20		0.40	1.01	1.29	1.42		1.50	1.50	1.48	1.38	1.24		0.86	0.25	
21		0.48	0.99	1.24	1.36	1.44	1.48	1.54	1.52	1.48	1.42	1.31	1.09	0.62	
22		0.52	1.07	1.29	1.42	1.48	1.52	1.54	1.52	1.46	1.40	1.27	1.03	0.60	
25											1.27	1.18	1.03	0.69	
26		0.75	1.13	1.29	1.40	1.46	1.50	1.50	1.50	1.44	1.38	1.25	1.05	0.58	
27		0.71	1.11	1.31	1.38	1.44	1.48	1.48	1.48	1.42	1.36	1.25	1.03		
28		0.71	1.13	1.33	1.42	1.48	1.52	1.50	1.48	1.42	1.33	1.27	1.03		
29		0.60	0.96	1.20	1.33	1.40	1.42	1.42	1.40	1.35	1.31	1.18	0.96	0.29	
MAI 1927															
4												1.14	0.92	0.52	
7		0.29	0.69	1.05	1.24	1.31									
9				1.22	1.31	1.35	1.36	1.38	1.36	1.33	1.27	1.20	1.07	0.75	
14		0.71	1.07	1.22	1.31	1.33									
17		0.64													
19		0.50	0.82	1.05		1.24			1.24	1.18	1.11	0.98	0.77		
20		0.54	0.88	1.07	1.16	1.24	1.27		1.18	1.14	1.09	1.01	0.80	0.48	
21		0.64	0.98	1.16	1.24	1.31	1.33					1.03	0.78		
22		0.58	1.01	1.20	1.33	1.36				1.31			0.90	0.46	
23										1.25	1.16	1.05		0.56	
24		0.67	1.01	1.18	1.29	1.35	1.36	1.40	1.36	1.35	1.25	1.14	0.98	0 69	
25		0.66	1.03	1.22	1.35	1.40	1.42	1.42	1.40	1.36	1.33	1.25	1.09	0.77	
28		0.82	1.09											0.48	
29		0.77	1.11	1.27		1.40		1.48	1.46	1.40	1.25	1.22	1.05	0.75	
30		0.64	0.94		1.16	1.22	1.24	1.25	1.24	1.18	1.09	0.98	0.78	0.46	
31		0.50	0.88	1.07	1.18	1.25	1.31	1.33	1.31	1.27	1 22	1.09	0.92		

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
JUIN 1927															
1		0.71	0.94	1.03	1.14	1.20	1.27	1.29	1.27	1.24				0.52	
2		0.50	0.75	0.92	1.05	1.14	1.14			1.14	1.11	0.98	0.84	0.50	
5		0.62	0.96	1.16	1.29	1.35	1.38	1.38	1.38	1.36	1.35	1.25	1.11	0.86	0.08
6		0.67	1.01		1.31	1.35	1.42			1.36	1.31	1.25			
7	0.08	0.77	1.11	1.27	1.36	1.42	1.44	1.42	1.40	1.38	1.31	1.22	1.11	0.84	0.19
8	0.16	0.86	1.13	1.29	1.36	1.40	1.40	1.40	1.36	1.35	1.29	1.16	1.03	0.77	0.12
9	0.16	0.75	1.03	1.18		1.31	1.33	1.33	1.31	1.29	1.24	1.13	0.92	0 62	0.02
10	0.02	0.69	1.01	1 14	1.25	1.27	1.33	1.36	1.35	1.29	1.24	1 13	0.96	0.71	0.16
11	0.06	0.67	0.92	1.09	1.18		1.27		1.29	1.25	1.18	1.09	0.94	0.64	
13	0.04	0.64	0.96	1.13	1.20	1.27	1.31	1.35	1.33	1.31	1.25	1.13	0.98	0.58	
14		0.52	0.84	1.03	1.14	1.20	1.24	1.27	1.27	1.25	1.20	1.09	0.96	0.67	0.08
15	0.04	0.58	0.96	1.13	1.25	1.35									
19	0.29	0.82	1.13	1.25	1.31	1.42	1.44	1.46	1.44	1.42	1.29	1.22	0.99	0.69	
20	0.14	0.84	1.25	1.42	1.50	1.52	1.54	1.54	1.52	1.46	1.44	1.35	1.22	0.96	0.14
21	0.16	0.86	1.18	1.29	1.36	1.44	1.46	1.50	1.52	1.48	1.42	1.35	1.18	0.84	0.23
22	0.10	0.88	1.14	1.27	1.44	1.48	1.50	1.50	1.48	1.44	1.35	1.24	1.07	0.82	0.23
23					1.36	1.40	1.42	1.44	1.42	1.38	1.35	1.25	1.13	0.86	0.19
24	0.06	0.73	1.01	1.20	1.31	1.36	1.38	1.40	1.38	1.38	1.33	1.25	1.11	0.86	0.21
25	0.08	0.67	0.96	1.13	1.25	1.31	1.35	1.35	1.31	1.27	1.22	1.13		0.71	0.04
26		0.58	0.94	1.11	1.16	1.27	1.29	1.33		1 25	1.24	1.13	0.98		
27	0.08	0.75	1.05	1.20		1.24									
28		0.64													
29			0.66	0.92	0.98	1.05	1.20	1.24	1.20	1.16	1.11	0.99	0.78	0.44	0.02
30		0.40	0.77		1.09				1.09	0.99					
JUILLET 1927															
1		0.39	0.80	0.99	1.14	1.24	1.27	1.31	1.27	1.22					
2	0.04	0.54	0.84	0.99	1.09	1.14	1.22	1.24	1.22	1.18	1.09	0.98	0.80	0.52	0. 2
3				0.99		1.24	1.29	1.29	1.24	1.18	1.11		0.78	0.54	0.08
4	0.02	0.64	0.94	1.13	1.25	1.31	1.33	1.35	1.33	1.29	1.25	1.18	1.03	0.75	0.08
5	0.02	0.54	0.88	0.99	1.07	1.16	1.24	1.25	1.24	1.22	1.16	1.07	0.86	0.52	
6	0.04	0.56	0.88	1.09	1.22	1 25	1.27	1 29	1.27	1.24	1.07	0.92	0.67	0.37	0.02
7		0.39	0.69	0.88	1.03	1.13	1.11	1.14	1.11	1.05	0.98	0.84			
8				0.90	1.14	1.20			1.11	0.99					
9		0.27	0.58	0.78	0.84	0.98	1.05	1.07	1 05	0.99	0 88	0.78	0.58	0.25	
10		0.33	0.66	0.88	1.07	1.14	1.20	1.22	1.22	1.14	1.09	0.99	0.80	0.44	
11		0.39	0.71	0.94	1.07	1.14	1.18	1.20	1.18	1.11	1.03	0.90	0.71	0.39	
12		0.73	0 88	1.07	1.18	1.25	1.31	1.14	1.29	1.20	1 11	0.96	0.73	0.39	
13		0.31	0.67	0.88	1.03	1.13	1.18	1.20	1 18	1.14	0 98	0.84	0.66	0.37	
14	0.02	0.50	0.73	0.86	1.01	1.07	1.11	1.13	1.11	1.09	0 98	0.88	0.69		
15		0.35			0.96	1.03	1.07	1.11	1.11	1.05	0.96	0.78	0.58	0.29	
16		0.27				1.05	1.09	1.11	1.11			0.78			
17		0.14	0.50	0.67	0.82	0.94	0.98	1.03	1.03	0.98	0.92	0.78	0.58	0.25	
18		0.21	0.52	0.75	0.86	0.96	1.05	1.09	1.13	1.13	1.22	1.14	1.01	0.71	
19		0.73	1.07	1.29	1.36	1.42	1.44	1.46	1.46	1.44	1 40	1.31	1.14	0.67	
20	0.06	0.80	1.11	1.25	1.33	1.35	1.40	1.40	1.46	1.42	1.35	1.25	1.07	0.77	
21		0.69	1 01	1.14	1.24	1.33	1.35	1.36	1.36	1.35	1.29	1.18	1.05	0.82	
22		0.66	0.98	1.13	1.22	1.25	1.29	1.33	1.33	1.29	1.29	1.22	1.07	0.80	
23	0.06	0.75	1.01	1.14	1.20	1.24	1.24	1.25	1 22	1.18					
24	0.04	0.67	0.96	1.20	1 29	1.31	1 33	1.35	1.35	1.35	1.31	1.29	1.20	0.80	
25		0.75	1.07	1.29	1.40	1.48	1.56	1.56	1.50	1.48	1.40	1.29	1.22	0.82	
26		0.73	1.09	1.27	1.38	1.46	1.52	1.52	1.52	1.52	1.44	1.31	1.14	0.86	
27		0.67	1.05	1.25	1.36	1.44	1.46	1.46	1.46	1.44	1.38	1.29	1.13	0.82	
28		0.67	1.07	1.25	1.36	1.44	1.46	1.50	1.50	1.48	1.44	1.31	1.14	0.82	
29		0.66	1.03	1.24	1.35	1.40	1.42	1.44	1.40	1.38	1 35	1.27	1.13	0.80	
30		0.71	1.05	1.24	1.36	1 40	1.42	1.40	1.40	1.38	1.31	1.29	1.13	0.82	
31		0.75	1.16	1.35	1.42	1.52	1.54	1.54	1.54	1.50	1.44	1.33	1.18	0.82	

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AOUT 1927															
1		0.56	0.94	1.11	1.31	1.35	1.42	1.46	1.44	1.38	1.27	1.18	1.07	0.78	
2		0.54	0.88	1.07	1.18	1.25	1.25	1.27	1.24	1.20	1.09	0.96	0.73	0.33	
3										1.13	1.07	0.92	0.69		
4		0.48	0.80	1.03	1.81	1.25	1.33	1.36	1.33	1.33	1.31	1.20	1.01	0.66	
5		0.62	0.98	1.20	1.25	1.33	1.36	1.38	1.38	1.38	1.35	1.25	1.07	0.69	
6		0.44	0.88	1.14	1.25	1.36	1.44	1.46	1.46	1.42	1.35	1.20	1.03	0.67	
7		0.56	0.90	1.09	1.22	1.29	1.33	1.36	1.31	1.25	1.13	0.98	0.73	0.27	
8		0.35	0.78	1.03	1.16	1.24	1.27	1.29	1.25	1.18	1.11				
9		0.39	0.77	1.01	1.18				1.25	1.20	1.13	0.98	0.69	0.19	
10		0.40	0.80	1.05	1.18	1.27	1.31	1.33	1.33	1.29	1.24	1.14	0.94	0.62	
11		0.78	1.13	1.31	1.38	1.46	1.52	1.54	1.54	1.42	1.20	1.25	1.09	0.66	
12			0.77	1.01	1.22	1.33	1.40	1.42	1.40	1.33	1.25	1.13	0.92	0.50	
13		0.52	0.94	1.14	1.20	1.35	1.36	1.38	1.36	1.25	1.14	0.98	0.69	0.29	
14		0.29	0.78	1.01	1.14	1.22	1.25	1.29	1.29	1.27	1.20	1.13	0.99	0.62	
15		0.42	0.94	1.14	1.25	1.35	1.22	1.42	1.40	1.33	1.24	1.11	0.86	0.42	
16		0.35	0.77	1.07	1.24	1.31	1.35	1.35	1.33	1.29	1.29	1.24	1.11	0.64	
17		0.46	1.01	1.16	1.29	1.33	1.36	1.35	1.35	1.33	1.25	1.14	0.84	0.35	
18		0.31	0.75	0.99	1.14	1.24	1.25	1.27	1.25	1.20	1.11	0.92	0.67	0.23	
19		0.21	0.71	0.94											
21		0.42	0.99	1.20	1.33	1.40	1.46	1.48	1.48	1.48	1.42	1.29	1.09	0.67	
22		0.62	1.03	1.16	1.31	1.38	1.44	1.44	1.42	1.42	1.35	1.24	1.03	0.24	
23		0.56	1.05	1.27	1.40	1.56	1.54	1.50	1.40	1.29	1.09	0.69			
24		0.40	0.90	1.11	1.27	1.33	1.36	1.38	1.38	1.36	1.31	1.14	0.84		
25		0.10	0.64	1.01	1.18	1.31	1.38	1.44	1.44	1.40	1.33	1.22	1.07	0.92	
26		0.40	0.92	1.18	1.31	1.35	1.42	1.44	1 40	1.38	1.31	1.18	0.90	0.37	
28		0.33	0.90	1.13	1.25	1.38	1.44	1.48	1.44	1.40	1.33	1.22	0.99	0.49	
29		0.50	1.05	1.24	1.38	1.50	1.56	1.57	1.52	1.48	1.36	1.22	0.98	0.44	
30		0.52	0.94	1.09	1.24	1.29	1.29	1.27	1.24	1.16	1.07	0.80	0.48		
SEPTEMBRE 1927															
2			0.56	0.98	1.18	1.24	1.29	1.31	1.27	1.22	1.14	0.98	0.75	0.33	
3		0.23	0.71	0.92	1.09					1.24	1.18	1.01		0.29	
4		0.04	0.48	0.75	0.98				1.11	1.05	0.96	0.20	0.50		
10		0.25	0.92	1.18	1.31		1.46	1.48	1.48	1.44	1.31	1.22	0.98	0.29	
11		0.27	0.90	1.13	1.27	1.35	1.38	1.36	1.35	1.25	1.20	1.01	0.69	0,04	
16			0.37	0.75	0.94	1.20	1.31	1.36	1.31	1.18	1.01	0.78	0.40		
17			0.31	0.62	0.88	1.07	1.18	1.24			0.80				
18			0.64	0.98						1.18		0.92	0.60		
19			0.64	1.05	1.24	1.36	1.48	1.50	1.52	1.40	1.27	0.94			
20		0.29	0.98	1.31	1.46	1.54	1.57	1.57	1.57	1.52	1.44	1.29	0.99		
21		0.40	1.13	1.35	1.52	1.61	1.62	1.64	1.62	1.57	1.52	1.35	0.99		
22		0.08	0.84	1.20	1.42	1.50	1.57	1.61	1.57	1.50	1.38	1.22	0.86		
24			0.60	1.07	1.27	1.40	1.44	1.46	1.44	1.40					
25			0.40	0.82	1.07										

TABLEAU I (*suite*)

Heures / Dates	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
OCTOBRE 1927															
2			0.66	1.13	1.33	1.40	1.52	1.52	1.52	1.46	1 35	1.16	0.78		
4			0.82	1.18	1.35	1.44	1.48	1.50	1.46	1.44	1.29	1.09	0.67		
5			0.73	1.16	1.38	1.48	1.50	1.54	1.57	1.50	1.27	1.07	0.67		
8											1.16	1.01	0.66		
12											1.36	1.24	0 77		
13			0.71	1.16	1.38	1 48	1.56	1.59	1.57	1.50	1.38	1.18	0.69		
20			0.31	0.86	1.11										
21			0.40	0.96	1.27	1.40	1.46	1.48	1.48	1.38	1.27	1.09	0.62		
24					1.22	1.33	1.42			1.42					
26					1.33	1.48	1.54		1.56	1.48	1.35	1.09	0.40		
27			0.54	1.22	1.48	1.59	1.68	1.70	1.66	1.64	1.42	1.24	0.62		
28			0.48	1.16	1.35	1.54	1.62	1.64	1.64	1.59	1.44	1.16	0.44		
29				1.03	1.36	1.54	1.57	1.57	1.56	1.52	1.42	1.16			
30			0.25	0.98	1.31	1.46	1.52	1.54	1.50	1.50	1.40	1.16	0.44		
31								1.57			1.38	1.13	0.35		
NOVEMBRE 1927															
1			0.42	1.05	1.35	1.44	1.50	1.56	1.48		1.31	0.90			
2						1.42	1.56	1.54			1.35	1.05	0.35		
3				0.90	1.16	1.31	1.48	1.50	1.48	1.38	1.27	1.01	0.25		
4			0.31	1.07	1.35	1.48	1.57	1.59	1.56	1.50	1.31	1.09	0.35		
5				1.13	1.35	1.48	1.57	1.57	1.56	1.48	1.27	1.01			
6					1.27	1.42	1.54	1.56	1.54	1.42	1.27				
7			0.33	1.01	1.29	1.42	1.48	1.50	1.48	1.42	1.29	0.96			
13												0.94			
14				1.09											
15				1.01	1.31	1.50	1.57	1.61	1.62	1.54		1.03			
17				0.80	1.18	1.35	1.44	1.48	1.44	1.33	1.16	0.80			
18				0.98	1.38	1.56	1.62	1.62	1.62	1.54	1.36	1.01			
28				0.90	1.29	1.48	1.52	1.46	1.40	1.29					
30				0.75	1.07	1.24	1.32	1.32	1.29	1.21	1.06	0.73			
DECEMBRE 1927															
1				0.82	1.12	1.24	1.31	1.32	1.29						
2				0.72	1.06	1.21	1.29	1.32		1.21	1.07	0.77			
3				0.65	1.04	1.22	1.31	1.35		1.22	1.03	0.77			
6								1.25	1.28	1.19	1.06				
11				0.81	1.12	1.27	1.34	1 37	1.32	1.25	1.07	0.72			
13				0.60	0.99	1.16									
20					1.19	1.20	1.27								
21						1.2		1.35			0.99				
22				0.72	1.03	1.18	1.25	1 27	1.25	1.18	1.01	0.57			
28				0.73	1.03	1.21	1.29	1.29	1.24						
30					0.93	1.15	1.22	1.25	1.13	1.03					

TABLEAU II

Valeurs moyennes mensuelles (obtenues par ciel clair) en $\frac{\text{calories-grammes}}{\text{cm}^2 \text{ min.}}$ de l'intensité du rayonnement solaire à l'incidence normale pour chaque heure du jour de juillet 1924 à décembre 1927, en temps vrai, à l'Ariana

MOIS	5 heures	6 heures	7 heures	8 heures	9 heures	10 heures	11 heures	12 heures	13 heures	14 heures	15 heures	16 heures	17 heures	18 heures	19 heures
Juillet 1924		0.55	0.97	1.17	1.30	1.34	1.38	1.39	1.36	1.36	1.31	1.21	1.04	0.67	
Août —		0.34	0.87	1.08	1.23	1.29	1.34	1.34	1.36	1.29	1.23	1.13	0.85	0.37	
Sept. —		0.18	0.57	0.91	1.10	1.21	1.27	1.31	1.30	1.26	1.17	0.99	0.67	0.21	
Oct. —			0.54	1.06	1.26	1.35	1.43	1.45	1.42	1.39	1.26	1.14	0.80		
Nov. —			0.20	1.00	1.28	1.41	1.43	1.48	1.44	1.43	1.30	1.13	0.56		
Déc. —				0.77	1.18	1.35	1.44	1.46	1.46	1.39	1.20	0.99			
Janvier 1925			0.03	0.81	1.17	1.32	1.39	1.37	1.37	1.30	1.11	0.93	0.06		
Février —			0.43	1.06	1.29	1.41	1.46	1.46	1.42	1.36	1.27	1.08	0.57		
Mars —		0.06	0.56	1.02	1.23	1.31	1.39	1.43	1.40	1.34	1.20	1.03	0.48	0.09	
Avril —		0.35	0.85	1.03	1.21	1.37	1.39	1.34	1.34	1.33	1.20	1.07	0.92	0.38	
Mai —	0.22	0.72	0.84	1.11	1.23	1.32	1.35	1.34	1.31	1.32	1.26	1.18	1.01	0.69	
Juin —	0.17	0.63	0.90	1.10	1.18	1.25	1.28	1.27	1.25	1.22	1.17	1.07	0.94	0.72	0.11
Juillet —	0.20	0.61	0.92	1.10	1.20	1.26	1.28	1.29	1.27	1.20	1.12	1.01	0.82	0.48	0.10
Août —		0.40	0.80	1.01	1.13	1.19	1.17	1.21	1.19	1.14	1.07	0.95	0.74	0.40	0.02
Sept. —		0.27	0.72	0.91	1.09	1.12	1 14	1.14	1.10	1.04	0.97	0.80	0.59	0.10	
Oct. —			0.63	1.02	1 22	1.33	1.35	1.38	1.37	1.29	1.15	0.89	0.33		
Nov. —				0.77	1.11	1.29	1.37	1.40	1.37	1.23	1.18	0.78			
Déc. —				0.74	1.06	1.23	1.33	1.34	1.31	1.29	1.12	0.78			
Janvier 1926			0.35	0.81	1.11	1.27	1.35	1.38	1.36	1.27	1.10	0.77	0.12		
Février —			0.52	0.99	1.25	1.38	1.47	1.47	1.46	1.41	1.28	1.04	0.46		
Mars —			0.66	1.10	1.30	1.42	1.50	1.51	1.45	1.36	1.25	1.01	0.69		
Avril —		0.50	0.88	1.13	1.29	1.37	1.42	1.45	1.42	1.40	1.31	1.18	0.87	0.36	
Mai —	0.07	0.67	1.01	1.18	1.27	1.35	1.39	1.41	1.40	1.35	1.29	1.21	1.02	0.66	0.07
Juin —	0.13	0.61	0.96	1.12	1.22	1.28	1.31	1.35	1.33	1.33	1.27	1.18	1.05	0.78	0.13
Juillet —	0.09	0.64	0.95	1.11	1.20	1.27	1.29	1.31	1.31	1.27	1.23	1.12	0.90	0.63	0.07
Août —		0.40	0.81	1.01	1.09	1.19	1.19	1.22	1.21	1.18	1.11	0.91	0.71	0.42	
Sept. —		0.13	0.66	0.94	1.09	1.16	1.22	1.23	1.18	1.17	1.07	0.75	0.61	0.02	
Oct. —			0.50	0.88	1.09	1.18	1.22	1.25	1.24	1.20	1.11	0.92	0.46		
Nov. —			0.31	0.78	1.06	1.20	1.26	1.29	1.29	1.24	1.11	0.87	0.20		
Déc. —				0.77	1.05	1.21	1.27	1.33	1.32	1.08	1.07	0.68			
Janvier 1927			0.48	0.88	1.21	1.35	1.43	1.45	1.41	1.30	1.20	0.89			
Février —			0.41	1.02	1.24	1.37	1.42	1.50	1.41	1.38	1.27	1.02	0.42		
Mars —			0.78	1.16	1.32	1.41	1.51	1.51	1.48	1.41	1.39	1.11	0.77	0.21	
Avril —		0.50	0.93	1.19	1.34	1.39	1.45	1.45	1.42	1.39	1.27	1.14	0.92	0.42	
Mai —		0 61	0.96	1.16	1.26	1.31	1.33	1.39	1.32	1.28	1.20	1.10	0.91	0.59	
Juin —	0.11	0.69	0.99	1.16	1.25	1.32	1.36	1.39	1.35	1.31	1.28	1.18	1.02	0.72	0.13
Juillet —	0.04	0.54	0.80	0.05	1.17	1.24	1.28	1.32	1.28	1.25	1.19	1.08	0.83	0.62	0.08
Août —		0.44	0.88	1.11	1.25	1.34	1.37	1.39	1.37	1.35	1.23	1.14	0.90	0.52	
Sept. —		0.22	0.68	1.01	1.20	1.36	1.43	1.45	1.42	1.33	1.20	1.05	0.75	0.24	
Oct. —			0.54	1.08	1.32	1.47	1.54	1.56	1.55	1.49	1.35	1.14	0.59		
Nov. —			0.35	0.97	1.27	1.43	1.51	1.53	1.50	1.41	1.27	0.96	0.32		
Déc. —				0.72	1.05	1.21	1.29	1.31	1.25	1.18	1.04	0.71			

Tableau III

TOTALISATION EN CALORIES POUR QUATRE PÉRIODES JOURNALIÈRES ET PAR JOURNÉES ENTIÈRES

Rayonnement solaire à l'incidence normale

Tableau III

MOIS	JUILLET 1924					AOUT 1924					SEPTEMBRE 1924				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1											166	241	290	134	831
2											161	239	234	172	806
3											116	133	98	79	426
4											95	189	151	54	489
5											121	215	143	100	579
6											84	121	187	95	487
7											143	221	206	85	655
8											123	208	214	100	645
9											111	216	215	106	648
10											71	170	156	37	434
11											134	185	126	101	546
12											71	139	137	124	471
13						134	209	203	94	640	115	211	211	129	666
14						144	216	215	153	728	128	234	235	148	745
15						163	229	214	170	776	111	237	226	135	709
16						107	117	11	20	255	70	100	74	58	302
17						149	220	226	203	798	106	208	167	158	639
18						209	245	241	176	871	200	142	251	166	759
19						203	252	242	170	867	150	199	242	171	762
20	189	314	245	212	960	166	229	224	121	740	126	230	237	110	703
21	210	255	258	228	951	67	189	195	101	552	107	200	115	108	530
22	141	225	230	271	867	152	209	201	49	611	106	48	168	115	437
23	201	220	216	139	776	139	205	231	135	710	90	179	204	118	591
24	169	222	232	187	810	171	235	235	174	815	99	182	139	17	437
25	145	247	217	224	833	166	226	234	176	802	96	137	139	67	439
26	276	258	261	166	961	96	197	226	158	677	87	209	225	15	536
27	—	—	—	—	—	58	211	226	41	536	12	54	53	53	172
28	240	246	235	170	891	166	246	247	206	865	22	122	70	20	234
29	190	206	112	121	629	196	170	226	219	811	0	47	23	4	74
30	209	258	224	186	877	161	222	221	112	716	108	161	73	34	377
31	—	—	—	—	—	118	146	200	144	608					

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	OCTOBRE 1924					NOVEMBRE 1924					DÉCEMBRE 1924				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	51	159	142	73	425	89	100	203	74	466	104	183	210	21	518
2	12	109	57	49	227	101	241	235	108	685	78	230	28	0	336
3	106	230	177	87	600	121	259	251	150	781	0	41	3	0	44
4	95	202	104	40	441	115	259	264	139	777	0	14	128	59	201
5	22	26	16	0	64	121	259	267	124	771	17	187	194	7	405
6	67	98	80	65	310	73	247	222	27	569	67	217	133	22	439
7	133	188	194	134	649	9	56	9	3	77	9	63	70	0	142
8	139	252	255	143	789	107	253	126	39	525	28	193	28	0	249
9	148	250	226	110	734	69	153	99	11	332	12	35	236	85	368
10	119	215	121	116	571	118	195	146	25	484	11	108	56	0	175
11	129	236	248	128	741	59	36	59	3	157	22	80	86	0	188
12	104	157	20	3	284	17	14	31	33	95	0	122	115	52	289
13	47	190	166	28	431	7	183	124	51	365	71	242	256	79	648
14	111	150	158	100	519	54	141	153	22	370	11	103	216	65	395
15	123	255	242	126	746	87	166	44	4	301	0	0	0	0	0
16	100	162	237	27	526	84	88	193	51	416	82	242	253	0	577
17	62	101	33	5	201	0	36	6	11	53	34	146	151	39	370
18	0	4	52	0	56	64	188	77	30	359	0	0	0	0	0
19	69	182	166	15	432	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
20	47	46	1	59	153	81	235	157	4	477	0	0	0	0	0
21	37	78	70	81	266	27	232	104	36	399	54	231	58	42	385
22	111	239	236	54	640	23	120	108	22	273	23	190	120	81	414
23	94	239	200	101	634	95	269	156	97	617	59	225	94	47	425
24	20	57	31	15	123	90	262	31	0	383	5	48	158	11	222
25	25	52	183	99	359	0	126	235	58	419	0	93	204	100	397
26	99	182	128	73	482	45	230	208	34	517	84	250	232	32	598
27	21	137	92	0	250	4	132	150	81	367	82	250	236	82	650
28	14	11	17	7	49	28	50	27	10	115	67	258	263	107	695
29	60	170	118	26	404	0	0	0	11	11	74	245	195	54	568
30	11	80	72	47	210	41	158	185	84	468	7	103	93	28	231
31	59	88	109	26	282						62	162	17	0	241

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	JANVIER 1925					FÉVRIER 1925					MARS 1925				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	57	240	161	0	458	96	252	256	54	658	150	128	220	76	574
2	67	215	221	81	584	44	151	108	104	407	76	170	163	161	570
3	81	253	252	82	668	32	170	58	30	290	16	151	145	112	424
4	4	88	131	54	277	21	41	75	17	154	33	120	193	161	507
5	17	133	11	14	175	59	156	100	23	338	60	135	54	9	258
6	0	33	43	1	77	44	222	159	11	436	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	210	139	176	570
8	0	17	17	14	48	27	143	190	99	459	51	200	205	184	640
9	22	86	161	113	382	0	47	25	0	72	144	230	204	99	677
10	28	151	54	52	285	4	80	46	15	145	53	178	124	30	385
11	41	30	42	0	113	108	258	242	65	673	65	121	26	0	212
12	58	219	178	64	519	11	35	14	0	60	9	95	128	38	270
13	38	210	166	84	498	67	246	269	108	690	0	86	69	57	212
14	33	88	47	49	217	62	72	58	62	254	0	0	0	0	0
15	0	72	70	9	151	4	3	27	21	55	0	0	0	0	0
16	4	153	32	54	243	0	12	130	110	252	0	0	0	52	52
17	1	21	53	21	96	118	246	141	139	644	23	148	162	87	420
18	41	168	126	69	404	124	179	33	5	341	48	195	245	138	626
19	9	57	73	81	220	145	268	251	121	785	70	153	69	0	292
20	75	224	277	25	601	1	0	0	10	11	47	124	16	5	192
21	74	194	145	75	488	0	52	104	96	252	16	68	73	9	166
22	69	219	50	1	339	141	188	200	75	604	20	90	204	141	455
23	89	237	226	91	643	39	152	85	116	392	149	221	232	97	699
24	27	163	30	30	250	51	85	105	39	280	0	3	0	0	3
25	94	242	282	28	646	3	6	47	25	81	0	0	47	22	69
26	99	237	230	14	580	116	189	209	76	590	0	3	19	14	36
27	0	77	128	64	269	128	258	250	152	788	0	77	78	23	178
28	53	215	199	84	551	132	252	236	127	747	94	94	253	87	528
29	76	231	224	12	543						150	217	253	164	784
30	62	136	59	1	258						94	142	93	20	349
31	3	58	75	4	140						23	122	215	38	398

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	AVRIL 1925					MAI 1925					JUIN 1925				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	0	0	0	0	0	58	220	216	227	721	216	236	196	201	849
2	143	224	240	174	781	200	320	192	233	945	225	239	241	234	939
3	89	93	73	101	356	115	206	256	197	774	244	238	203	86	771
4	0	31	0	0	31	243	282	274	239	1038	250	239	236	189	914
5	49	95	168	190	502	184	200	135	22	541	217	213	219	211	860
6	175	214	241	59	689	45	231	136	0	412	148	78	155	123	504
7	0	43	152	33	228	181	274	168	76	699	171	217	287	112	787
8	79	104	93	76	352	152	183	183	67	585	178	161	56	2	397
9	141	175	170	181	667	42	93	121	55	311	179	222	219	179	799
10	158	252	245	78	733	66	136	134	136	472	176	223	189	189	777
11	112	162	36	9	319	63	23	71	7	164	179	227	222	217	845
12	41	89	145	154	429	22	105	77	10	214	255	254	243	221	973
13	27	33	56	37	153	—	—	—	—	—	209	219	214	107	749
14	79	33	168	15	295	—	—	—	—	—	10	64	78	17	169
15	33	30	194	111	368	—	—	—	—	—	138	194	181	95	608
16	112	208	130	147	597	195	214	219	188	816	125	218	192	181	716
17	89	142	241	170	642	195	190	69	11	465	148	192	209	155	704
18	118	262	256	214	850	86	224	224	58	592	160	197	160	129	646
19	171	236	193	185	785	75	10	33	19	137	145	160	207	163	675
20	113	225	195	62	595	0	3	42	112	157	224	221	219	110	774
21	27	23	50	1	101	106	164	214	178	662	217	214	195	115	741
22	58	151	143	84	436	73	44	50	0	167	107	146	171	203	627
23	0	0	0	0	0	136	178	117	105	536	228	224	217	101	770
24	0	0	0	0	0	4	13	16	76	109	64	9	55	100	228
25	161	199	139	16	515	222	115	162	149	648	108	142	116	152	518
26	118	174	27	74	393	87	105	152	41	385	86	130	175	137	528
27	91	229	63	1	384	75	207	220	205	707	194	116	157	61	528
28	137	273	251	232	893	240	248	234	132	854	247	248	237	201	933
29	113	159	182	70	524	317	212	69	8	606	194	247	39	121	601
30	234	86	204	244	768	70	28	9	28	135	236	220	230	201	887
31						59	73	60	10	202					

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	JUILLET 1925					AOUT 1925					SEPTEMBRE 1925				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	79	197	199	84	559	135	198	204	152	689	132	178	178	118	606
2	176	144	259	264	843	85	131	188	186	590	77	272	185	124	658
3	243	251	215	194	933	178	251	198	95	722	61	75	3	24	163
4	206	229	210	69	714	178	192	255	58	683	33	99	151	27	310
5	115	179	96	40	430	159	192	187	117	655	143	184	185	120	632
6	73	168	198	156	595	152	217	210	180	759	12	148	117	0	277
7	195	217	194	166	772	198	233	220	178	829	159	228	192	115	694
8	261	273	264	254	1052	168	252	259	117	796	100	166	168	98	532
9	337	276	249	200	1062	174	252	259	129	814	0	103	162	2	267
10	147	179	194	42	559	166	230	230	152	778	66	62	90	38	256
11	109	218	185	208	720	210	217	203	157	787	90	80	45	11	226
12	-		—	—	—	174	203	182	118	677	96	143	88	33	360
13	-	-	—		—	156	212	206	106	680	0	42	60	46	148
14	—	-	—		—	225	121	142	50	538	105	174	146	129	554
15	193	220	200	119	732	223	223	214	133	793	179	244	222	132	777
16	135	207	145	81	568	157	263	164	133	717	132	228	208	76	644
17	193	220	204	129	746	160	213	221	206	800	0	12	121	72	205
18	125	157	180	175	637	167	222	218	156	763	140	193	179	105	617
19	—	—	—	—	—	186	222	208	143	759	125	180	155	88	548
20	220	230	214	155	819	161	196	107	12	476	—	—	—	—	—
21	212	232	226	185	855	174	190	196	121	681	35	135	158	40	368
22	232	249	227	172	880	133	130	198	93	554	27	155	192	59	433
23	167	212	197	205	781	77	113	157	63	440	103	195	105	41	444
24	77	175	189	154	595	133	214	220	91	658	40	33	83	79	235
25	195	218	219	110	742	135	86	75	61	357	34	162	113	78	387
26	—	—	—	—	—	135	207	213	129	684	47	63	0	12	122
27	—	—	—	—	—	143	105	114	90	452	35	27	17	0	79
28	167	204	191	139	701	118	35	71	112	336	0	23	93	13	129
29	151	202	191	134	678	123	133	179	109	544	89	113	110	87	399
30	176	207	206	115	704	77	109	136	64	386	0	87	26	0	113
31	66	83	96	70	315	136	165	155	71	527					

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	OCTOBRE 1925					NOVEMBRE 1925					DÉCEMBRE 1925				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	118	196	126	131	571	120	148	0	0	268	86	237	232	87	642
2	157	244	221	56	678	25	63	144	69	361	26	71	222	79	398
3	115	81	0	0	196	0	0	118	30	148	79	236	204	44	563
4	71	41	76	64	252	10	80	91	30	211	28	83	33	0	144
5	34	129	2	25	190	70	142	116	41	369	28	20	17	46	111
6	45	69	167	83	364	0	134	73	2	209	13	0	2	3	18
7	101	25	66	15	207	89	187	146	34	456	0	60	110	5	175
8	0	0	0	0	0	95	198	138	41	472	72	125	181	53	431
9	11	15	27	36	89	0	157	128	3	288	3	4	25	26	58
10	35	120	129	102	386	0	2	13	46	61	57	199	29	0	285
11	127	229	171	131	658	0	13	17	0	30	27	7	0	0	34
12	89	95	121	21	326	25	153	80	33	291	63	218	55	14	350
13	59	100	181	105	445	44	62	83	19	208	0	10	51	57	118
14	140	249	206	17	612	5	0	0	11	16	22	58	12	10	102
15	0	0	0	0	0	46	196	202	64	508	5	56	113	0	174
16	105	245	236	97	683	97	280	95	48	520	0	1	0	0	1
17	126	106	60	33	325	79	243	247	64	633	3	83	24	10	120
18	57	191	170	94	512	44	234	163	89	530	69	181	45	5	300
19	151	227	215	100	693	84	161	98	0	343	19	39	230	151	439
20	142	241	239	90	712	5	3	0	0	8	41	103	72	11	227
21	135	244	209	84	672	87	269	189	51	596	73	228	221	35	557
22	136	242	159	192	729	5	1	0	0	6	50	190	130	3	373
23	25	63	46	15	149	87	202	148	25	462	17	124	129	59	329
24	20	56	38	17	131	56	136	116	0	308	3	20	23	0	46
25	91	233	196	15	535	3	56	10	57	126	0	0	94	41	135
26	13	42	53	20	128	74	106	53	10	243	20	98	98	56	272
27	0	0	0	8	8	2	17	3	0	22	63	147	119	37	366
28	107	146	173	74	500	0	58	181	30	269	94	243	238	74	649
29	0	109	105	2	216	0	0	68	56	124	66	142	42	113	363
30	5	59	1	0	65	30	210	158	29	427	90	247	225	72	634
31	127	245	217	79	668						73	224	211	66	574

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	JANVIER 1926					FÉVRIER 1926					MARS 1926				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	49	206	197	62	514	9	84	151	20	264	90	87	45	0	222
2	78	228	207	62	575	79	247	214	85	625	15	108	77	58	258
3	4	11	139	40	197	0	9	28	0	37	46	122	28	0	196
4	0	58	63	10	131	41	221	134	72	468	44	154	139	82	419
5	0	11	55	50	116	109	199	259	100	667	136	75	113	23	347
6	77	240	226	71	624	20	258	247	88	613	122	214	171	24	531
7	60	237	462	71	830	23	11	0	0	34	13	23	167	35	238
8	54	229	208	66	557	—	—	—	—	—	100	178	179	107	564
9	69	166	99	65	399	80	252	139	0	481	140	213	232	134	719
10	64	12	16	0	92	0	19	42	56	117	130	64	171	59	424
11	90	245	191	48	574	0	0	0	0	0	0	123	62	8	193
12	54	173	217	48	492	44	182	170	97	493	89	236	218	72	615
13	21	114	31	34	202	48	98	28	60	234	64	63	150	151	428
14	22	79	113	0	214	117	188	0	0	305	182	278	157	122	739
15	41	155	0	0	196	7	42	105	27	181	173	184	171	109	637
16	0	0	36	0	36	14	123	86	68	321	133	285	262	152	832
17	49	17	153	33	252	0	30	0	101	131	195	276	248	148	867
18	0	32	163	10	205	37	143	171	138	489	136	202	227	102	667
19	0	32	68	5	105	32	165	242	125	564	64	86	5	0	155
20	61	106	182	33	382	147	281	273	125	826	0	0	0	0	0
21	26	18	54	9	107	51	270	269	137	727	35	147	95	69	346
22	0	31	119	65	215	152	280	257	119	808	150	218	202	163	733
23	86	195	252	86	619	154	276	270	131	831	13	26	87	32	158
24	96	265	105	0	466	117	94	152	77	440	79	233	87	90	489
25	0	0	1	21	22	94	167	241	109	611	180	189	265	142	776
26	21	55	34	0	110	109	200	208	0	517	86	185	136	93	500
27	27	30	14	73	144	0	4	36	98	138	125	133	79	5	342
29	86	225	238	91	640	140	117	139	52	448	35	9	14	0	58
29	124	223	198	59	604						115	155	95	29	394
30	98	256	238	100	692						14	100	130	88	332
31	82	173	143	0	398						103	58	29	65	255

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	AVRIL 1926					MAI 1926					JUIN 1926				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	5	45	21	35	106	0	113	190	169	472	149	189	68	51	457
2	47	0	102	60	209	109	163	222	101	595	206	229	182	62	679
3	151	191	234	158	734	16	31	57	16	120	17	60	109	185	371
4	115	184	161	86	546	163	172	150	86	571	48	54	131	125	358
5	169	257	264	188	878	7	17	62	191	277	120	202	202	143	667
6	196	282	193	41	712	217	183	189	227	816	161	221	218	155	755
7	123	264	251	174	812	198	215	202	184	799	147	224	258	262	891
8	42	71	200	16	329	184	172	222	206	784	273	175	235	223	906
9	126	105	107	103	441	12	190	217	124	543	228	248	248	232	956
10	124	143	217	178	662	0	1	11	9	21	173	271	230	166	840
11	63	45	14	23	145	99	229	257	206	791	156	293	245	175	869
12	7	58	13	7	85	137	192	244	170	743	161	294	234	152	841
13	45	199	107	0	351	132	225	233	83	673	49	117	117	14	297
14	140	105	49	0	294	97	48	163	171	479	161	242	253	221	877
15	0	0	0	0	0	42	135	33	34	244	237	177	243	253	910
16	65	145	108	59	377	234	229	213	160	836	233	197	209	185	824
17	178	57	147	65	447	59	57	58	42	216	49	53	114	61	277
18	174	244	258	191	867	58	54	54	38	204	230	240	257	232	959
19	161	137	34	0	332	60	60	50	40	210	7	11	13	1	32
20	2	42	121	98	263	211	205	192	144	752	64	164	204	76	508
21	236	188	35	8	467	187	183	86	35	491	88	68	16	53	225
22	205	179	202	139	725	0	5	26	3	34	224	206	222	245	897
23	37	29	48	52	166	0	0	0	4	4	238	233	237	232	940
24	0	140	128	0	268	174	137	152	74	537	193	203	124	83	603
25	205	271	199	46	721	5	16	9	47	77	52	36	100	0	188
26	217	262	219	131	829	89	244	96	194	623	15	138	175	83	411
27	136	188	214	181	719	219	250	177	160	806	75	207	210	73	565
28	124	206	193	125	648	82	179	253	229	743	199	137	142	171	649
29	46	134	122	138	440	212	250	227	203	892	176	206	215	242	839
30	5	5	0	0	10	123	138	178	235	674	238	235	239	208	920
31						253	258	223	187	921					

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	JUILLET 1926					AOUT 1926					SEPTEMBRE 1926				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	30	146	122	59	357	13	85	103	91	292	117	157	23	0	297
2	147	193	237	218	795	115	203	234	188	740	102	102	84	59	347
3	217	220	138	59	634	185	212	219	183	799	48	147	188	25	408
4	89	193	165	44	491	196	232	219	161	808	36	129	157	59	381
5	123	129	173	133	558	45	136	185	170	536	113	113	60	15	301
6	86	124	73	27	310	151	185	117	163	616	60	122	62	73	317
7	146	215	66	36	463	192	185	110	152	639	73	31	88	125	317
8	158	175	83	127	543	196	217	197	166	776	0	0	0	34	34
9	183	187	237	205	812	187	227	239	199	852	117	140	185	76	518
10	59	105	188	17	369	188	159	221	191	759	71	196	179	114	560
11	191	222	233	197	843	205	227	218	178	828	32	56	143	86	317
12	215	195	211	154	775	123	132	173	107	535	71	118	157	59	405
13	199	232	153	193	777	162	195	188	138	683	95	105	136	97	433
14	188	109	7	49	353	136	204	203	139	682	90	135	204	100	529
15	234	244	247	234	959	88	74	42	171	375	85	123	132	125	465
16	233	253	250	236	972	119	109	222	163	613	84	123	80	130	417
17	231	254	252	233	970	163	235	235	182	815	149	193	217	151	710
18	222	232	235	227	916	154	208	224	185	771	115	191	136	42	484
19	131	240	219	174	764	176	223	174	168	741	154	218	179	44	595
20	160	211	211	156	738	145	203	224	186	758	107	180	218	109	614
21	140	209	209	175	733	167	228	229	137	761	88	208	217	140	653
22	227	214	214	219	874	169	223	220	173	785	102	157	166	88	513
23	228	240	247	231	946	168	232	230	187	817	91	139	154	99	483
24	232	250	241	216	939	137	138	200	140	615	137	235	233	149	754
25	169	258	245	197	869	84	219	222	138	663	147	226	213	111	697
26	199	229	224	168	820	152	223	221	147	743	117	200	205	71	593
27	197	227	207	136	767	130	165	203	127	625	60	135	77	15	287
28	49	77	58	37	221	84	74	178	50	386	156	230	228	99	713
29	162	194	226	158	740	139	210	196	129	674	0	7	1	0	8
30	119	181	209	167	676	154	209	203	137	703	132	149	86	85	452
31	225	220	170	161	776	155	214	205	136	710					

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	OCTOBRE 1926					NOVEMBRE 1926					DÉCEMBRE 1926				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	101	59	2	4	166	8	96	123	39	266	8	31	0	0	39
2	100	14	29	26	169	5	0	26	7	38	83	232	145	77	537
3	144	236	236	118	734	100	218	218	95	631	15	53	31	0	99
4	123	213	209	103	648	90	236	233	74	633	29	160	101	10	300
5	124	218	214	96	652	35	63	48	14	160	0	0	0	0	0
6	123	232	228	124	707	9	123	143	35	310	0	0	9	0	0
7	131	233	237	103	704	0	15	88	83	186	45	152	101	13	311
8	136	227	225	119	707	4	1	70	95	170	—	—	—	—	—
9	115	211	210	102	638	32	84	105	4	225	69	165	146	36	416
10	96	207	146	21	470	0	1	17	82	100	29	124	7	41	201
11	109	200	138	38	485	0	128	92	39	259	22	167	117	58	364
12	45	150	30	13	238	2	11	1	0	14	24	190	129	37	380
13	88	204	207	100	599	13	93	159	27	292	68	223	222	78	591
14	130	137	195	111	573	1	51	78	7	137	64	224	227	60	575
15	107	210	184	111	612	73	208	173	83	537	68	244	229	59	600
16	119	221	199	111	650	75	221	220	46	562	61	229	171	41	502
17	72	99	177	112	460	74	207	95	10	386	0	0	74	45	119
18	51	188	195	174	608	0	0	71	51	122	23	172	39	49	283
19	110	219	218	102	649	45	15	0	21	81	0	27	116	16	159
20	100	215	218	99	632	74	225	226	93	618	27	106	177	65	375
21	96	224	217	98	635	73	214	173	23	483	45	172	139	47	403
22	0	35	63	24	122	34	7	4	0	45	38	188	31	16	273
23	60	191	193	28	472	0	76	95	13	184	0	0	0	0	0
24	10	189	160	13	372	0	5	16	2	23	16	65	44	59	184
25	0	16	9	10	35	37	101	19	217	374	0	0	0	0	0
26	110	194	92	21	417	78	214	50	0	342	0	0	36	37	73
27	1	53	50	16	120	12	202	93	39	346	1	143	73	34	251
28	59	192	176	60	487	33	151	62	61	307	85	245	233	46	609
29	87	100	77	13	277	48	215	68	12	343	0	43	68	12	123
30	2	0	57	0	59	82	211	187	17	497	0	0	62	28	90
31	45	130	72	13	260						52	181	171	64	468

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	JANVIER 1927					FÉVRIER 1927					MARS 1927				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	100	235	189	7	531	30	208	209	16	463	23	121	181	72	397
2	13	108	166	59	346	36	96	159	34	325	0	12	0	0	12
3	8	15	0	0	23	2	65	31	0	98	49	147	189	107	492
4	8	15	0	0	23	0	0	0	0	0	140	259	268	156	823
5	16	123	58	7	204	27	151	43	0	221	156	242	161	95	654
6	45	217	24	35	321	0	28	31	0	59	0	46	27	7	80
7	7	38	9	7	61	30	77	73	52	232	154	150	222	90	616
8	20	68	24	0	112	37	207	129	2	375	21	17	10	5	53
9	64	43	9	0	116	98	230	149	87	564	146	260	259	129	794
10	5	7	36	2	50	32	57	118	105	312	34	100	118	142	394
11	34	95	158	14	301	117	259	250	126	752	49	108	101	0	258
12	30	0	30	59	119	119	233	105	98	555	107	132	109	20	368
13	8	55	248	97	408	140	184	66	1	391	79	94	150	63	386
14	50	60	0	8	118	14	33	134	90	271	115	78	38	79	310
15	12	123	137	30	302	16	222	110	10	358	148	182	238	145	713
16	0	117	117	2	236	88	251	200	117	656	39	45	108	136	328
17	—	—	—	—	—	125	253	93	7	478	161	164	149	69	543
18	26	218	152	56	452	125	265	94	120	604	0	0	0	0	0
19	27	46	0	0	73	132	167	21	0	320	45	57	199	126	427
20	0	0	0	0	0	0	68	41	49	158	32	190	165	74	461
21	—	—	—	—	—	60	117	39	44	260	123	197	185	119	624
22	—	—	—	—	-	122	214	177	131	644	140	204	191	123	658
23	—	—	—	—	—	27	23	139	72	261	98	40	15	38	191
24	51	194	239	85	569	28	120	105	0	253	5	0	0	2	7
25	66	184	42	4	296	5	138	228	60	431	0	26	96	23	145
26	78	259	53	2	392	131	206	235	125	697	124	194	189	129	636
27	44	168	88	32	332	93	189	155	38	475	61	100	83	39	283
28	59	230	217	23	529	160	274	256	152	842	0	116	130	83	329
29	59	230	107	73	469						2	94	61	46	203
30	109	26	145	0	280						28	50	30	21	129
31	250	264	96	0	610						68	109	68	70	315

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	AVRIL 1927					MAI 1927					JUIN 1927				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	131	110	160	134	535	23	171	210	132	536	155	215	215	132	717
2	148	130	171	59	508	4	9	58	0	71	162	172	139	170	643
3	133	250	222	163	768	35	49	99	26	209	29	17	98	16	155
4	176	269	262	195	902	23	80	91	183	377	45	0	73	79	197
5	222	282	260	155	919	155	219	190	32	596	151	180	248	238	817
6	209	274	262	195	940	2	70	26	0	98	206	122	109	103	540
7	215	268	188	161	832	161	233	171	58	623	242	265	256	240	1003
8	217	264	242	158	881	77	68	92	88	325	255	254	248	204	961
9	162	236	211	65	674	109	238	236	220	803	228	238	234	173	873
10	119	219	200	114	652	97	147	167	132	543	212	219	238	149	818
11	166	132	233	94	625	47	73	5	0	125	170	94	178	146	588
12	7	2	16	0	25	101	72	41	28	242	15	79	40	3	137
13	109	200	204	90	603	132	42	0	0	174	179	233	192	166	770
14	82	157	150	52	441	228	232	65	20	545	181	174	232	209	796
15	44	106	161	147	458	0	100	12	39	151	205	232	126	112	675
16	5	46	2	45	98	115	190	107	87	499	0	23	76	1	100
17	110	60	95	9	274	61	57	65	90	273	0	0	0	9	9
18	59	39	101	22	221	46	66	42	7	161	81	84	75	69	309
19	64	108	144	133	449	168	217	214	117	716	196	170	158	174	698
20	204	153	166	90	613	187	225	206	175	793	279	279	262	264	1084
21	209	250	269	218	946	210	237	222	142	811	266	266	267	256	1055
22	223	268	268	207	966	218	184	171	152	725	258	271	264	240	1033
23	192	184	177	29	582	50	144	228	139	561	78	158	252	243	731
24	14	66	110	96	286	213	245	228	185	871	228	248	251	242	969
25	160	164	235	213	772	224	258	256	236	974	218	242	222	133	815
26	240	273	260	205	978	137	76	79	12	304	102	161	130	187	580
27	235	302	266	193	996	0	0	0	163	163	195	121	40	32	388
28	241	278	258	187	964	75	53	122	46	296	195	121	40	32	388
29	200	257	239	181	877	158	200	259	286	903	74	138	196	139	547
30	77	159	150	125	511	191	223	217	169	800	88	109	144	13	354
31						191	233	232	167	823					

TABLEAU III (*suite*)

MOIS	JUILLET 1927					AOUT 1927					SEPTEMBRE 1927				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	163	233	203	12	611	180	259	251	228	918	38	171	189	124	522
2	182	208	218	158	766	189	230	213	152	784	114	233	225	155	727
3	87	190	175	73	525	72	118	144	137	471	145	113	219	155	632
4	209	247	237	222	915	137	149	241	213	740	112	180	178	112	582
5	184	222	227	184	817	212	245	253	220	930	58	132	81	57	328
6	197	232	221	152	802	184	259	258	185	886	16	189	105	15	325
7	151	196	194	74	615	193	243	230	131	797	10	0	26	2	38
8	69	179	164	42	454	168	235	214	144	761	22	76	19	0	117
9	125	161	164	119	569	168	121	200	90	579	0	2	34	71	107
10	160	214	214	170	758	178	244	239	204	865	181	218	224	170	793
11	158	209	194	137	698	250	278	265	219	1012	185	244	238	147	814
12	188	235	219	152	794	136	253	245	188	822	97	31	146	57	331
13	145	209	203	142	699	205	248	233	152	838	29	171	43	0	243
14	160	196	171	123	650	168	229	236	205	838	28	84	79	27	218
15	71	174	194	125	564	197	256	251	182	886	17	5	53	16	91
16	51	175	147	44	417	178	239	240	218	875	95	208	219	102	624
17	93	145	159	86	483	205	248	240	174	867	73	139	87	23	322
18	98	188	210	215	711	159	211	221	244	835	123	196	132	118	569
19	234	265	268	244	1011	96	116	144	36	392	146	265	259	93	763
20	248	253	254	232	987	159	252	250	145	806	207	272	269	185	933
21	224	240	252	233	949	163	244	264	231	902	227	243	287	182	929
22	213	232	245	232	922	217	264	264	207	952	191	286	280	166	923
23	224	230	197	124	775	224	287	233	74	818	96	80	30	46	252
24	220	233	251	236	940	185	252	254	174	865	145	260	245	132	782
25	171	280	253	249	953	146	247	262	212	867	108	163	179	44	494
26	238	267	272	249	1026	180	242	203	174	799	44	87	174	14	319
27	234	265	271	248	1018	81	221	247	167	716	0	124	178	29	331
28	228	267	272	243	1010	185	259	251	198	893	79	204	184	68	535
29	224	256	197	221	898	213	276	266	192	947	0	0	43	124	167
30	232	245	171	231	879	195	228	214	107	744	39	209	53	39	340
31	262	267	269	247	1045	102	203	180	105	590					

TABLEAU III (*suite et fin*)

MOIS	OCTOBRE 1927					NOVEMBRE 1927					DÉCEMBRE 1927				
Quantième	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	Lever à 9 h.	9 h. à midi	midi à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière
1	149	172	204	60	585	130	237	248	79	694	84	222	109	1	416
2	145	217	184	134	680	2	173	245	112	532	80	232	221	77	610
3	90	92	102	89	373	98	217	209	114	638	68	233	211	77	589
4	170	215	247	140	772	129	279	266	124	798	0	2	53	58	113
5	166	276	276	140	858	134	279	250	87	750	0	20	0	0	20
6	79	137	85	94	395	44	259	262	37	602	0	125	71	14	210
7	94	203	232	125	654	133	256	260	101	750	42	74	12	0	128
8	34	95	204	137	470	34	146	240	75	495	0	0	0	0	0
9	102	139	21	79	341	65	134	87	0	286	25	44	33	5	107
10	105	35	44	0	184	12	21	10	4	47	0	39	49	12	100
11	8	1	149	110	268	9	86	87	1	153	90	235	223	69	617
12	0	29	173	152	354	14	160	71	15	260	38	195	161	30	424
13	155	271	279	146	851	0	0	76	84	160	67	179	24	1	271
14	22	202	57	0	281	120	114	90	15	339	42	37	55	1	135
15	1	102	108	94	305	120	280	241	24	665	0	0	9	2	11
16	79	181	124	44	428	1	76	118	16	211	12	97	163	26	298
17	56	138	151	68	413	9	93	192	88	382	0	38	35	6	79
18	10	86	68	10	174	119	288	269	108	784	24	82	11	9	126
19	38	132	135	0	305	38	187	119	9	353	0	0	0	0	0
20	103	110	49	7	269	15	280	170	68	533	19	164	7	9	199
21	125	260	240	129	754	50	148	100	2	300	17	121	36	16	190
22	132	254	211	38	635	37	108	44	14	203	65	218	214	59	556
23	23	59	6	0	88	0	0	0	0	0	0	6	32	0	38
24	34	250	196	61	541	0	7	75	4	86	3	4	0	0	7
25	122	118	206	72	518	7	0	1	1	9	0	16	24	1	41
26	77	164	232	134	607	30	109	0	2	141	0	4	97	28	129
27	158	304	281	143	886	8	172	247	46	473	0	0	11	17	28
28	142	289	282	114	827	38	197	120	0	355	75	230	136	2	443
29	110	280	277	102	769	40	199	122	62	423	2	0	1	0	3
30	123	257	268	95	743	82	233	226	64	605	21	186	121	2	330
31	82	210	120	124	536						0	4	105	0	109

Tableau IV

Quantités journalières de calories reçues — Rayonnement solaire à l'incidence normale

1924

MOIS — QUANTIÈME	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1								—	831	425	466	518
2								—	806	227	685	336
3								—	426	600	781	44
4								—	489	441	777	201
5								—	579	64	771	405
6								—	487	310	569	439
7								—	655	649	77	142
8								—	645	789	525	249
9								—	648	734	332	368
10								—	434	571	484	175
11								—	546	741	157	188
12								—	471	284	95	289
13								640	657	431	365	648
14								728	745	519	370	395
15								776	709	746	301	0
16								255	302	526	416	577
17								798	639	201	53	370
18								871	759	56	359	0
19								867	762	432	1	0
20							960	740	703	153	477	0
21							951	552	530	266	399	385
22							867	611	437	640	273	414
23							776	710	591	634	617	425
24							810	815	437	123	383	222
25							833	802	439	359	419	397
26							961	677	536	482	517	598
27							—	536	172	250	367	650
28							891	865	232	49	115	695
29							629	811	74	404	11	568
30							877	716	377	210	468	231
31							—	608		282		241
(1) Total mens. normalisé.							26.520	21.827	16.129	12.598	11.630	10.170

(1) Compte tenu des jours pour lesquels les observations manquent : la moyenne réelle obtenue avec x jours enregistrés étant multipliée par le nombre de jours légal du mois.

Tableau IV *(suite)*

Quantités journalières de calories reçues — Rayonnement solaire à l'incidence normale

1925

MOIS — QUANTIÈME	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	458	658	574	0	721	849	559	689	606	571	268	642
2	584	407	570	781	945	939	843	590	658	678	301	398
3	668	290	424	356	774	771	933	722	163	196	148	563
4	277	154	507	31	1.038	914	714	683	310	252	211	144
5	175	338	258	502	541	860	430	655	632	190	369	111
6	77	436	0	689	412	504	595	759	277	364	209	18
7	0	0	570	228	699	767	772	829	694	207	456	175
8	48	459	640	352	585	397	1.052	796	532	0	472	431
9	382	72	677	667	311	799	1.062	814	267	89	288	58
10	285	145	385	733	472	777	559	778	256	386	61	285
11	113	673	212	319	164	845	720	787	226	658	30	34
12	519	60	270	429	214	973	—	677	360	326	291	350
13	498	690	212	153	—	749	—	680	148	445	208	118
14	217	254	0	295	—	169	—	538	554	612	16	102
15	151	55	0	368	—	608	732	793	777	0	508	174
16	243	252	52	597	816	716	568	717	644	683	520	1
17	96	644	420	642	465	704	746	800	205	325	633	120
18	404	341	626	850	592	646	637	763	617	512	530	300
19	220	785	292	785	137	675	—	759	548	693	343	439
20	601	11	202	595	157	774	819	476	—	712	8	227
21	488	252	166	101	662	741	855	681	368	672	596	557
22	339	604	455	436	167	627	880	554	433	729	6	373
23	643	392	699	0	536	770	781	440	444	149	462	329
24	250	280	3	0	109	228	595	658	235	131	308	46
25	646	81	69	515	648	518	742	357	387	535	126	135
26	580	590	36	393	385	528	—	684	122	128	243	272
27	269	788	178	384	707	528	—	452	79	8	22	366
28	551	747	528	893	854	933	701	336	129	500	269	649
29	543		784	524	606	601	678	544	399	216	124	363
30	258		349	768	135	887	704	386	113	65	427	634
31	140		398		202		315	527		668		574
Total mens. normalisé.	10.723	10.458	10.546	13.386	15.560	20.817	22.310	19.924	11.569	11.700	8.453	8.988

Total annuel.... 164.434

Tableau IV *(suite)*

Quantités journalières de calories reçues — Rayonnement solaire à l'incidence normale

1926

MOIS — QUANTIÈME	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	514	264	222	106	472	457	357	292	297	166	266	39
2	575	625	258	209	595	679	795	740	347	169	38	537
3	197	37	196	734	120	371	634	799	408	734	631	99
4	131	468	419	546	571	358	491	808	381	648	633	300
5	116	667	347	878	277	667	558	536	301	652	160	0
6	624	613	531	712	816	755	310	616	317	707	310	0
7	830	34	238	812	799	891	463	639	317	704	186	311
8	557	—	564	329	784	906	543	776	34	707	170	—
9	399	481	719	441	543	956	812	852	518	638	225	416
10	92	117	424	662	21	840	369	759	560	470	100	201
11	574	0	193	145	791	869	843	828	317	485	259	364
12	492	493	615	85	743	841	775	535	405	238	14	380
13	200	234	428	351	673	297	777	683	433	599	292	591
14	214	305	739	294	479	877	353	682	529	573	137	575
15	196	181	637	0	244	910	959	375	465	612	537	600
16	36	321	832	377	836	824	972	613	417	650	562	502
17	252	131	867	447	216	277	970	815	710	460	386	119
18	205	489	667	867	204	959	916	771	484	608	122	283
19	105	564	155	332	210	32	764	741	595	649	81	159
20	382	826	0	263	752	508	738	758	614	632	618	375
21	107	727	346	467	491	225	733	761	653	635	483	403
22	215	808	733	725	34	897	874	785	513	122	45	273
23	619	831	158	166	4	940	946	817	483	472	184	0
24	466	440	489	268	537	603	939	615	754	372	23	184
25	22	611	776	721	77	188	869	663	697	35	374	0
26	110	517	500	829	623	411	820	743	593	417	342	73
27	144	138	342	719	806	565	767	625	287	120	348	251
28	640	448	58	648	743	649	221	386	713	487	307	609
29	604		394	440	892	839	740	674	8	277	343	123
30	692		332	10	674	920	676	703	452	59	497	90
31	398		255		921		776	710		260		468
Total mens. normalisé.	10.708	11.791	13.434	13.583	15.948	19.511	21.760	21.100	13.602	11.357	8.671	8.602

Total annuel.... 173.067

Tableau IV *(suite et fin)*

Quantités journalières de calories reçues — Rayonnement solaire à l'incidence normale

1927

MOIS — QUANTIÈME	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	53[1]	463	397	535	536	717	611	918	522	585	694	416
2	346	325	12	508	71	643	766	784	727	680	532	610
3	23	98	492	768	209	155	525	471	632	373	638	589
4	23	0	823	902	377	197	915	740	582	772	798	113
5	204	221	654	919	596	817	817	930	328	858	750	20
6	321	59	80	940	98	540	802	886	325	395	602	210
7	61	232	616	832	623	1.003	615	797	38	654	750	128
8	112	375	53	881	325	961	454	761	117	470	495	0
9	116	564	794	674	803	873	569	579	107	341	286	107
10	50	312	394	652	543	818	758	865	793	184	47	100
11	301	752	268	625	125	588	698	1.012	814	268	153	617
12	119	555	368	25	242	137	794	822	331	354	260	424
13	408	391	386	603	174	770	699	838	243	851	160	271
14	118	271	310	441	545	796	650	838	218	281	339	135
15	302	358	713	458	151	675	564	886	91	305	665	11
16	236	656	328	98	499	100	417	875	624	428	211	298
17	—	478	543	274	273	9	483	867	322	413	382	79
18	452	604	0	221	161	309	711	835	569	174	784	126
19	73	320	427	449	716	698	1.011	392	763	305	353	0
20	0	158	461	613	793	1.084	987	806	933	269	533	199
21	—	260	624	946	811	1.055	949	902	929	754	300	190
22	—	644	658	966	725	1.033	922	952	923	635	203	556
23	—	261	191	582	561	731	775	818	252	88	0	38
24	569	253	7	286	871	969	940	865	782	541	86	7
25	296	431	145	772	971	815	953	867	494	518	9	41
26	392	697	636	978	304	580	1.026	799	319	607	141	129
27	332	475	283	996	163	388	1.018	716	331	886	473	28
28	529	842	329	964	296	388	1.010	893	535	827	355	443
29	469		203	877	903	547	898	947	167	769	423	3
30	280		129	511	800	354	879	744	340	743	605	330
31	610		315		823		1.045	590		536		109
Total mens. normalisé.	8.350	11.055	11.629	19.296	15.091	18.750	24.261	24.995	14.161	15.864	12.027	6.327

Total annuel.... 181.806

TABLEAU V

Totalisation mensuelle en calories pour quatre périodes journalières et la journée entière
Radiation solaire à l'incidence normale

MOIS	Lever à 9 h.	9 h. à 12 h.	12 h. à 15 h.	15 h. au coucher	Journée entière	OBSERVATIONS
VII 1924.....	6.107	7.598	6.913	5.902	26.520	
VIII —	4.511	6.482	6.556	4.278	21.827	
IX —	3.129	5.177	5.010	2.813	16.129	
X —	2.235	4 545	3.981	1.837	12.598	
XI —	1.729	4.688	3.870	1.343	11.630	
XII —	1.063	4.261	3.833	1.013	10.170	
						Total annuel :
I 1925.....	1.222	4.467	3.763	1.271	10.723	1925 = 164.434
II —	1.577	3.763	3.418	1.700	10.458	
III —	1.436	3.481	3.629	2.000	10.546	1926 = 173.067
IV —	2.668	3.945	4.055	2.718	13.386	
V —	3.666	4.762	4.266	2.866	15.560	1927 = 181.806
VI —	5.278	5.708	5.518	4.313	20.817	
VII —	5.270	6.383	6.169	4.488	22.310	
VIII —	4.796	5.757	5.789	3.582	19.924	
IX —	2.131	3.935	3.675	1.828	11.569	
X —	2.342	4.042	3.610	1.706	11.700	
XI —	1.182	3.511	2.878	882	8.453	
XII —	1.190	3.454	3.187	1.157	8.988	Total année agricole
						1-IX à 31-VIII
I 1926.....	1.439	3.825	4.232	1.212	10.708	
II —	1.726	4.107	4.004	1.954	11.791	
III —	2.807	4.424	3.041	2.162	13.434	
IV —	3.144	4.176	3.961	2.302	13.583	1924-25 = 174.251
V —	3.379	4.351	4.446	3.772	15.948	
VI —	4.367	5.330	5.450	4.364	19.511	1925-26 = 168.645
VII —	5.189	6.178	5.750	4.643	21.760	
VIII —	4.478	5.786	6.054	4.782	21.100	1926-27 = 178.659
IX —	2.749	4.265	4.208	2.380	13.602	
X —	2.594	5.017	4.663	2.083	14.357	
XI —	1.037	3.392	2.953	1.289	8.671	
XII —	901	3.654	2.985	1.062	8.602	
I 1927.....	1.365	3.603	2.691	691	8.350	
II —	1.794	4.335	3.390	1.536	11.055	
III —	2.147	3.534	3.740	2.208	11.629	
IV —	4.373	5.506	5.682	3.735	19.296	
V —	3.438	4.411	4.111	3.131	15.091	
VI —	4.693	4.885	4.998	4.174	18.750	
VII —	5.443	6.913	6.686	5.219	24.261	
VIII —	5.325	7.156	7.206	5.308	24.995	
IX —	2.625	4.585	4.478	2.473	14.161	
X —	2.734	5.278	5.211	2.641	15.864	
XI —	1.518	4.738	4.415	1.356	12.027	
XII —	774	2.807	2.224	522	6.327	

Ladislas GORCZYNSKI

Docteur ès Sciences

QUELQUES TRAITS CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT SOLAIRE RÉEL DU LITTORAL TUNISIEN

D'APRÈS LES ENREGISTREMENTS DES PYRHÉLIOGRAPHES THERMO-ÉLECTRIQUES DU SERVICE BOTANIQUE DE TUNISIE

pendant les Années 1924-1927

INTRODUCTION

La série tunisienne de l'enregistrement continu de l'intensité du rayonnement solaire à l'aide des pyrhéliographes thermo-électriques embrasse déjà une période assez longue pour se prêter à une discussion détaillée. Cette série, recueillie au Service Botanique de Tunisie, à l'Ariana, près de Tunis, mérite d'autant plus d'attention qu'elle représente la première documentation méthodique sur les conditions réelles de l'insolation dans le territoire immense de l'Afrique française du Nord. Les études actinométriques présentent ici une importance spéciale non seulement au point de vue purement scientifique, mais aussi pour les problèmes multiples de l'acclimatation et pour l'organisation générale de la vie humaine, animale et végétale dans ces régions ensoleillées.

Enumérons sommairement les questions traitées dans les cinq chapitres qui suivent :

1. Pour pouvoir examiner de plus près et comparer les valeurs de l'Ariana avec les données analogues obtenues en France et ailleurs, il a fallu commencer par effectuer les trois réductions fondamentales qu'il convient d'appliquer aux mesures ordinaires de l'intensité du rayonnement solaire pour les rendre comparables. Ce sont justement ces trois réductions : à la position du soleil par rapport à l'horizon, à la distance moyenne de la terre au soleil et à la tension de la vapeur d'eau, qui font l'objet du premier chapitre.

2. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des moyennes mensuelles et à la discussion de la marche annuelle de l'intensité du rayonnement solaire à l'Ariana. Ce sont les mois d'hiver et de printemps qui priment ici en comparaison de l'été et de l'automne, marqués par une forte absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau et aussi par l'effet des poussières atmosphériques.

3. Ces traits caractéristiques du climat solaire du littoral tunisien sont

encore plus accentués dans le chapitre troisième, consacré à l'étude des maxima mensuels et annuels de l'intensité du rayonnement solaire, avec quelques comparaisons avec Montpellier, Paris, Varsovie et d'autres lieux encore.

4. Toutes ces comparaisons sont facilitées par l'emploi des coefficients de transmission, appliqués, dans le chapitre quatrième, non seulement à l'Ariana, mais aussi aux différentes régions de la terre.

5. Dans le cinquième et dernier chapitre, on a ajouté un petit exposé concernant l'influence des éruptions volcaniques sur les valeurs observées de l'intensité du rayonnement solaire. Cette influence se fait sentir fortement même dans les régions les plus éloignées du centre de l'éruption.

Service Botanique de l'Ariana, en mars 1928.

Chapitre I

RÉDUCTIONS FONDAMENTALES POUR LES VALEURS DE L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Il y a trois réductions fondamentales à faire quand on veut entreprendre une étude comparative de la marche des valeurs de l'intensité du rayonnement solaire. Ces trois réductions sont les suivantes :

1° Réduction à une position déterminée du soleil par rapport à l'horizon;

2° Réduction de l'intensité du rayonnement solaire à la distance moyenne de la terre au soleil;

3° Réduction due à la tension de la vapeur d'eau dans les couches atmosphériques au-dessus du lieu d'observation.

1. Réduction à la position du soleil

La position du soleil au moment des mesures peut être observée directement au moyen d'un cercle gradué ou d'un petit théodolite; à défaut de l'observation directe, on calcule la hauteur h du soleil ou sa distance zénithale $Z = 90° - h$ au moyen de la formule bien connue de la trigonométrie sphérique :

$$\text{Cos } z = \text{Sin } \varphi \,.\, \text{Sin } \delta - \text{Cos } \varphi \,.\, \text{Cos } \delta \,.\, \text{Cos } t \ldots\ldots\ldots (1)$$

où φ signifie la latitude du lieu d'observation, δ la déclination et t l'angle horaire du soleil.

Ayant la valeur de la distance zénithale (ou de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon), on obtient les épaisseurs atmosphériques m, lesquelles sont souvent calculées d'après la formule de Lambert :

$$m = \frac{p}{760}\left(\sqrt{1 + 2\,r + r^2\,\text{Cos.}^2\,Z} - r\,\text{Cos. } Z\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

où l'épaisseur atmosphérique m est exprimée en atmosphères; d'autre part, p signifie la pression barométrique en millimètres au moment des mesures et r dépend de la relation du rayon de la terre par rapport à la hauteur de

l'atmosphère homogène. Suivant Zenker, on a généralement admis que $r = 1000$, mais Bemporad a modifié un peu la formule de Lambert.

Les tables de Bemporad sont reproduites dans différents recueils des constantes physiques et météorologiques, par exemple dans « Smithsonian Physical Tables », publiées à Washington (1). Remarquons que les valeurs de m augmentent très rapidement quand le soleil est bas, comme le montre bien le tableau suivant :

TABLEAU I

Epaisseurs atmosphériques m en fonction de la distance zénithale Z du soleil (Epaisseur atmosphérique pour le niveau de la mer)

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02
10	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05
20	1.06	1.07	1.08	1.09	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
30	1.15	1.17	1.18	1.19	1.20	1.22	1.24	1.25	1.27	1.28
40	1.30	1.32	1.34	1.37	1.39	1.41	1.44	1.46	1.49	1.52
50	1.55	1.59	1.62	1.66	1.70	1.74	1.78	1.83	1.88	1.94
60	2.00	2.06	2.12	2.19	2.27	2.36	2.45	2.55	2.65	2.77
70	2.90	3.05	3.21	3.39	3.59	3.82	4.08	4.37	4.72	5.12
80	5.60	6.18	6.88	7.77	8.90	10.39	12.44	15.36	19.79	26.96
90	39.65									

Pour déterminer les variations de l'intensité Q du rayonnement solaire en fonction de l'épaisseur atmosphérique m, on groupe les valeurs mesurées de Q observées dans les mêmes conditions pour les différentes distances zénithales du soleil ou, ce qui revient au même, pour les différentes épaisseurs atmosphériques.

D'après les études effectuées en Pologne par l'auteur (2), il résulte que les variations ΔQ et Δm, valables pour Varsovie, sont les suivantes :

Δm (atm.)	ΔQ (cal.)	Δm (atm.)	ΔQ (cal.)
1.....1,5	0.12	4,5.....5	0.05
1,5.....2	11	5.....5,5	04
2.....2,5	09	5,5.....6	04
2,5.....3	07	6.....7	07
3.....3,5	06	7.....8	06
3,5.....4	05	8.....9	05
4.....4,5	05	9.....10	04

(1) Voir page 119 de ce volume.

(2) a) Etudes sur la marche annuelle de l'insolation (*Bulletin International de l'Académie des Sciences*, à Cracovie, 1903).

b) *Sur la marche annuelle de l'intensité du rayonnement solaire à Varsovie et sur la théorie des appareils employés* (p. 202, Montpellier, 1906).

Ces valeurs sont en bon accord avec les variations analogues, établies postérieurement par le docteur E. Stenz pour la Pologne, par le docteur Lunelund pour la Finlande, et par d'autres actinométristes.

Pour l'Afrique du Nord, ces variations sont un peu plus grandes, comme il résulte du tableau II, qui donne les valeurs correspondantes ΔQ et Δm d'après les courbes pyrhéliographiques de l'Ariana (Tunisie) pendant l'année 1926.

TABLEAU II

Variations de l'intensité du rayonnement solaire à l'Ariana (Tunisie) d'après les courbes pyrhéliographiques réduites en cal., gr., cm² et minute.

	ÉPAISSEURS ATMOSPHÉRIQUES									
MOIS	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5	4,5-5	5-5,5	5,5-6
I	0.14	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
II	15	13	13	09	08	08	05	05	04	05
III	14	17	13	11	08	10	06	06	06	06
IV	17	15	13	10	08	08	06	06	05	04
V	16	13	11	09	08	07	06	06	06	05
VI	18	12	10	08	10	05	07	06	05	05
VII	17	12	10	09	08	07	06	05	06	05
VIII	20	13	12	09	06	06	06	05	04	05
IX	20	15	10	09	08	06	05	05	05	05
X	19	11	10	08	07	06	05	05	05	04
XI	14	12	09	09	06	05	05	05	05	04
XII	12	11	11	08	09	04	05	06	04	05
Moyennes	16	13	11	09	08	065	06	055	05	05

2. Réduction de l'intensité Q du rayonnement solaire à la distance moyenne de la terre au soleil

Pour éliminer l'influence de la distance variable de la terre au soleil, il est souvent nécessaire de ramener les valeurs observées de Q à la distance moyenne de la terre. On se sert dans ce cas de la formule

$$Q = \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^2 . Q_c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

où ρ signifie le rayon apparent du soleil et ρ_0 sa valeur moyenne. Q_c représente l'intensité du rayonnement solaire telle qu'elle serait si la terre était à la distance moyenne du soleil au moment de l'observation.

Le facteur de réduction $(\rho_0/\rho)^2$ varie entre 0,967 (hiver) et 1,034 (été) au cours de l'année; par conséquent, il faut diminuer dans le premier cas et

augmenter dans le second de plus de 3 % les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire observées directement, pour les ramener à la distance moyenne de la terre au soleil. (Voir tableau III.)

TABLEAU III

Réductions à la distance moyenne de la terre au soleil (en % des valeurs de Q)

MOIS	DATES DE CHAQUE MOIS					
	5	10	15	20	25	30
I	— 3.3	— 3.3	— 3.2	— 3.2	— 3.0	— 2.9
II	— 2.7	— 2.6	— 2.4	— 2.2	— 1.9	»
III	— 1.5	— 1.3	— 1.0	— 0.8	— 0.5	— 0.2
IV	+ 0.1	+ 0.5	+ 0.8	+ 1.1	+ 1.3	+ 1.5
V	+ 1.8	+ 2.1	+ 2.3	+ 2.4	+ 2.6	+ 2.8
VI	+ 3.0	+ 3.1	+ 3.2	+ 3.3	+ 3.3	+ 3.4
VII	+ 3.4	+ 3.4	+ 3.3	+ 3.2	+ 3.1	+ 3.0
VIII	+ 2.9	+ 2.7	+ 2.6	+ 2.4	+ 2.1	+ 1.9
IX	+ 1.6	+ 1.3	+ 1.0	+ 0.7	+ 0.4	+ 0.2
X	— 0.1	— 0.4	— 0.7	— 1.0	— 1.3	— 1.5
XI	— 1.8	— 2.0	— 2.2	— 2.5	— 2.7	— 2.8
XII	— 2.9	— 3.1	— 3.2	— 3.3	— 3.3	— 3.3

Dans le tableau III, on a réuni les corrections respectives dans les intervalles de cinq jours; on y voit que la plus grande correction positive + 3,4 % tombe au commencement de juillet et la plus grande négative — 3,3 % à la fin de décembre. Au commencement d'avril et d'octobre, les corrections changent de signes en passant par zéro.

3. Réduction de l'intensité Q du rayonnement solaire à la tension f de la vapeur d'eau

La réduction la plus difficile à opérer se rapporte à la quantité de vapeur d'eau contenue dans les couches atmosphériques au-dessus du lieu d'observation. Déjà, en 1903, dans la première publication des résultats de mesures actinométriques à Varsovie, l'auteur (1) a déduit que la valeur moyenne de la variation ΔQ en fonction de Δf est, en valeur moyenne,

(1) WLADYSLAW GORCZYNSKI. Badania dad przebiegem rocznym insolacji (Rozprawy) Akademii, Wydz. Mat. Przyr, p. 86, Czerwiec, 1903).

Voir aussi la publication de l'auteur : « Sur la marche annuelle de l'intensité du rayonnement solaire à Varsovie et sur la théorie des appareils employés » (Thèse, p. 206, Montpellier, 1906).

$\Delta Q / \Delta f = -0{,}018$, ce qui signifie qu'à Varsovie l'intensité Q du rayonnement solaire diminue *en moyenne* de 0,018 gr. cal. (pendant 1 minute et sur 1 cm² de la surface normalement exposée aux rayons solaires), quand la tension de la vapeur d'eau augmente de 1 $^{m/m}$.

Ce coefficient moyen fut obtenu, empiriquement, en se servant d'une « méthode des valeurs maxima » spécialement appliquée dans ce but. Ce procédé est basé sur la règle, souvent très utile dans l'usage actinométrique, qui dit que — à part la position du soleil sur l'horizon et de la distance de la terre — tous les autres facteurs atmosphériques ont une tendance permanente à diminuer l'intensité du rayonnement solaire.

Par conséquent, pour étudier l'influence de la vapeur d'eau, on choisit — après avoir déjà effectué les réductions à la distance zénithale du soleil et à la distance de la terre — plutôt les valeurs les plus grandes parmi une série des intensités du rayonnement solaire obtenues dans les mêmes conditions.

Il est évident que cette méthode, ou règle des valeurs maxima, nécessite une série considérable de mesures individuelles pendant des jours différents.

Il faut aussi compter avec l'objection que les observations de la tension de la vapeur d'eau, effectuées tout près de la surface terrestre, ne sont pas toujours caractéristiques pour toute la couche depuis la surface de la terre jusqu'à la limite de l'atmosphère.

Mais l'objection la plus sérieuse contre l'admission d'une réduction moyenne de l'intensité du rayonnement solaire Q à la tension déterminée de la vapeur d'eau f consiste en ce que cette réduction dépend aussi de la position du soleil, c'est-à-dire de l'épaisseur atmosphérique m. Autrement dit, notre réduction devrait être une fonction non seulement de f, mais aussi de m.

Pour étudier de plus près cette question importante, rappelons que, suivant l'exemple d'Angström (*Nova Acta R. Societatis Scientiarum Upsaliensis*, vol. 1, n° 7, Upsala 1907), l'intensité du rayonnement solaire Q_m après la traversée d'une épaisseur m dans l'atmosphère terrestre peut être représentée sous la forme :

$$Q_m = Q'_m - W = Q_o \left[\Phi(\delta, m) - F(f,m)\, p^{m\delta}\right] \ldots\ldots\ldots (4)$$

Dans cette formule, la première partie :

$$Q'_m = Q_o\ \Phi\ .\ (\delta, m) \ldots\ldots\ldots (5)$$

correspond à l'effet de la diffusion atmosphérique, tandis que la seconde :

$$W = Q_o\ .\ F(f,m)\ .\ p^{m\delta} \ldots\ldots\ldots (6$$

représente l'effet de l'absorption.

Pour la perte de l'énergie rayonnante par suite de la diffusion, K. Angström a proposé la formule suivante :

$$Q'_m = Q_o\ .\ \frac{p^{m\,\delta}}{n.\, m^{\delta} + 1} \ldots\ldots\ldots (7)$$

où δ représente la « densité » de la couche diffusante de l'atmosphère de l'épaisseur m; P et n sont des constantes dont les valeurs numériques sont les suivantes d'après les mesures spectrobolométriques effectuées à Washington et à Upsala :

$$P = 0{,}93\ ,\ n = 0{,}26 \qquad (8)$$

L'équation (7) et les coefficients (8) se rapportent seulement à la diffusion; quant à l'influence de l'absorption suivant la formule (6), K. Angström propose, comme relation empirique, de déduire l'absorption du facteur dominant, notamment de la vapeur d'eau, utilisant la formule :

$$W = Q_o \,.\, K \,.\, = (f \,.\, m)^h \; p^{m\delta} \qquad (9)$$

où les valeurs numériques des coefficients sont les suivantes :

$$P = 0{,}85;\ K = 0{,}1;\ h = 0{,}275 \qquad (10)$$

dans les limites de l'intervalle :

$$5 < f \,.\, m < 30 \qquad (11)$$

De la formule (4) il s'ensuit :

$$\frac{dQm}{df} = -\ Q_o \cdot p^{m\delta} \cdot \frac{\vartheta}{\vartheta f} F\,(f, m) \qquad (12)$$

où, substituant la valeur de la fonction $F\,(f,\ m)$ d'après la formule (9) et remplaçant les coefficients par leurs valeurs numériques :

$$\frac{dQm}{df} = -\ 0{,}053 \,.\, \frac{0{,}85^{0{,}65.\,m} \,.\, m^{0{,}275}}{f^{0{,}725}} \qquad (13)$$

Dans cette dernière formule, on a admis $Q_o = 1{,}937$ comme valeur de la constante solaire et $\delta = 0{,}65$ comme « densité » de la couche diffusante de l'atmosphère terrestre.

La formule (13) nous donne, dans les limites de l'intervalle (11), la réduction cherchée à la tension f de la vapeur d'eau pour les différentes valeurs de f et aussi de l'épaisseur atmosphérique m.

Il s'ensuit du tableau IV (p. 200) que l'admission d'un facteur constant de la réduction à la tension de la vapeur ne peut constituer qu'une première approximation. Formant les moyennes, on voit que ce facteur est voisin de 0,020 pour $f = 3$ m/m et de 0,014 pour $f = 6$ m/m. Cela explique immédiatement pourquoi à Varsovie la moyenne générale de variations de Q avec f est de 0,018, si l'on prend en considération la marche annuelle de la tension de la vapeur d'eau en Pologne.

Dans l'usage pratique du tableau IV, on peut simplifier les calculs de la réduction de l'intensité du rayonnement solaire à une valeur déterminée de la vapeur d'eau, en prenant en considération que certaines valeurs de f ne sont pas observées pendant une série de valeurs de m. Ainsi, par exemple, une épaisseur atmosphérique inférieure à 2 n'est pas possible en hiver en Pologne, et en même temps la tension de la vapeur d'eau ne dé-

TABLEAU IV

Table des valeurs de $\frac{dQm}{df}$ pour les différents m et f (en millièmes de gr., cal., cm², min.)

		TENSION DE LA VAPEUR D'EAU EN m/m			
	M	$f=3$	6	9	12 m/m
Epaisseurs atmosphériques	1.5	—	0.014	0.010	0.008
	2.0	0.024	15	11	09
	3.0	24	14_5	10_5	—
	4.0	23	14	—	—
	5.0	22	13	—	—
	6.0	21	—	—	—
	7.0	19	—	—	—
	8.0	18	—	—	—
	9.0	17	—	—	—
	10.0	16	—	—	—

passe pas généralement 10 m/m pendant cette saison. De cette manière, on peut déduire, en se basant sur les valeurs de Q directement observées en fonction de m et de f, les réductions simplifiées à la tension de la vapeur d'eau dans chaque endroit déterminé suivant la base générale du tableau IV.

Ainsi, par exemple, on a utilisé à Varsovie le tableau V, où l'on a simplifié les réductions en admettant que l'influence des épaisseurs atmosphériques peut être négligée, en prenant une valeur déterminée de la tension de la vapeur et en modifiant convenablement les facteurs de réduction correspondants.

TABLEAU V

Variations de l'intensité Q du rayonnement solaire dues à la tension de la vapeur d'eau f (valables pour Varsovie seulement)

f	Q	f	Q
2 — 1	0.029	10 — 9	0.011
3 — 2	32	11 — 10	10
4 — 3	26	12 — 11	09
5 — 4	22	13 — 12	08
6 — 5	18	14 — 13	07
7 — 6	14	15 — 14	07
8 — 7	13	16 — 15	06
9 — 8	12		

CHAPITRE II

MOYENNES MENSUELLES ET MARCHE ANNUELLE DE L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT SOLAIRE A L'ARIANA

Les moyennes mensuelles de l'intensité du rayonnement à l'incidence normale ont été obtenues d'après les enregistreurs et notamment avec les pyrhéliographes thermo-électriques, munis des piles du type Moll et des millivoltmètres du type Richard. Les coefficients pour les divisions moyennes de ces pyrhéliographes étaient : 0.0194 pour l'appareil employé à partir de mai 1925 et 0.028 pour l'appareil qui a été utilisé avant cette date. Les coefficients dépendent de la division de l'échelle; par exemple, pour le pyrhéliographe employé en 1927, 1926 et depuis mai 1925, on a appliqué les coefficients suivants pour les différentes divisions de l'échelle proportionnelle du millivoltmètre enregistreur :

Divisions	20	40	50	60	70	80	100
Coefficients	0.0202	196	195	194	193	192	(190)

Cela signifie que la division 20 correspond à $Q = 0{,}40$, division 40 à $Q = 0{,}78$, division 80 à $Q = 1{,}54$ cal., et ainsi de suite. Comme l'on voit, les écarts par rapport à un coefficient moyen, quoique pas très grands, sont pourtant suffisamment importants pour employer les coefficients variables suivant la division de l'échelle des courbes pyrhéliographiques.

TABLEAU VI

Valeurs moyennes mensuelles observées à midi vrai, à l'Ariana (sans réduction)

	1924	1925	1926	1927	1924-1927
	—	—	—	—	—
Janvier.....		1.37	1.38	1.44	1.40
Février.....		1.43	1.48	1.50	1.47
Mars.....		1.40	1.51	1.52	1.48
Avril.....		1.49	1.44	1.44	1.46
Mai.....		1.34	1.40	1.38	1.37
Juin.....		1.27	1.33	1.38	1.33
Juillet.....	1.37	1.27	1.31		1.32
Août.....	1.31	1.18	1.22*		1.24
Septembre.....	1.23*	1.15*	1.22		1.20*
Octobre.....	1.37	1.35	1.25		1.32
Novembre.....	1.43	1.37	1.29		1.36
Décembre.....	1.43	1.33	1.33		1.36

N. B. — Les moyennes mensuelles à midi vrai à l'Ariana ont été obtenues d'après les courbes du pyrhéliographe thermo-électrique. Les divisions de l'échelle du millivoltmètre enregistreur, correspondantes aux valeurs horaires de l'intensité du rayonnement solaire, ont été ramenées en cal. gr. cm2 min. suivant les coefficients établis d'après les comparaisons multiples avec les pyrhéliomètres de contrôle (surtout des pyrhéliomètres d'Angström, dont les constantes ont été établies à l'échelle de l'Institut Smithsonien). Les détails concernant l'étalonnage de tous les appareils, employés à l'Ariana et ailleurs, sont exposés dans le mémoire de l'auteur sous le titre « Quelques résultats d'étalonnage des tubes pyrhéliométriques, des pyrhéliographes et des solarimètres » (*Annales du Service Botanique*, pp. 39-70, Tunis 1928).

Dans le tableau VI, on a réuni les valeurs moyennes mensuelles de l'intensité du rayonnement solaire à midi vrai à l'Ariana pendant les trois années depuis juillet 1924 à juin 1927.

On y voit que le maximum tombe au mois de mars et le minimum en septembre. Mais puisque toutes ces valeurs étaient obtenues pour les différentes épaisseurs atmosphériques, les distances variables de la terre et les différentes tensions de la vapeur d'eau dans les couches atmosphériques, nous avons calculé le tableau VII, en y appliquant les méthodes de réduction données dans le chapitre précédent.

TABLEAU VII

Marche annuelle de l'intensité du rayonnement solaire à l'Ariana d'après les moyennes mensuelles observées et réduites
Période : 1924-27 (trois ans)

MOIS	MOYENNES OBSERVÉES			MOYENNES RÉDUITES			ÉCARTS	
	Q	m	f	$m=1$	Dist. moy.	$f=11\frac{1}{2}$	Cal.	%
	1	2	3	4	5	6	7	8
I	1.40	1.88	8	1.66	1.61	1.57	+ 0.11	+ 8
II	1.47	1.54	9	1.64	1.60	1.57	+ 0.11	+ 8
III	1.48	1.28	9	1.58	1.56	1.53	+ 0.07	+ 5
IV	1.46	1.12	11	1.50	1.51	1.51	+ 0.05	+ 4
V	1.37	1.05	12	1.39	1.42	1.42	— 0.04	— 3
VI	1.33	1.03	14	1.34	1.38	1.40	— 0.06	— 4
VII	1.32	1.04	15	1.33	1.37	1.40	— 0.06	— 4
VIII	1.24	1.09	16	1.26	1.29	1.33	— 0.13	— 9
IX	1.20*	1.20	15	1.23*	1.24*	1.27*	— 0.19	— 13
X	1.32	1.42	13	1.45	1.44	1.45	— 0.01	— 1
XI	1.36	1.75	10	1.59	1.56	1.55	+ 0.09	+ 6
XII	1.36	2.00	8*	1.65	1.60	1.56	+ 0.10	+ 7
Moyennes	....	....	11.4	1.47	1.46_5	1.46	....	....

La colonne 1 du tableau VII donne les moyennes mensuelles de l'intensité Q du rayonnement solaire calculées d'après les valeurs enregistrées directement à l'Ariana à midi vrai de chaque jour. A côté de l'intensité Q, on a trouvé (dans les colonnes 2 et 3) les épaisseurs atmosphériques pour le quinzième jour de chaque mois et aussi les moyennes approximatives de la tension de la vapeur d'eau d'après les lectures d'un psychromètre d'aspiration (système d'Assmann) faites entre 10 et 11 heures du matin.

La colonne 4 donne les valeurs réduites à la même épaisseur atmosphérique ($m = 1$) et la colonne 5 à la distance moyenne de la terre, calculées

suivant les tableaux II et III du chapitre précédent. La colonne 6 donne la réduction approximative à la même tension de la vapeur d'eau et notamment à $f = 11$ m/m $\frac{1}{2}$ représentant la valeur estimée moyenne annuelle vers midi à l'Ariana de cet élément météorologique.

Les colonnes 7 et 8 donnent enfin les écarts des moyennes mensuelles de l'intensité du rayonnement, d'après toutes les réductions, par rapport à la moyenne annuelle.

On voit que, dans les moyennes observées, le maximum tombe au mois de mars et le minimum en septembre, tandis que, dans les moyennes réduites, le maximum se déplace vers le mois de janvier, mais l'époque de minimum ne change pas.

Les valeurs de la colonne 6, obtenues dans les mêmes conditions d'altitude et de distance du soleil, ainsi que pour les mêmes tensions de la vapeur d'eau, prouvent l'existence de grandes variations dans le degré de la transparence de l'atmosphère. Ces variations de la transparence dépendent sans doute de la proximité du grand désert qu'est le Sahara; elles sont caractéristiques pour tout le littoral tunisien et méritent une attention spéciale. Pour les évaluer plus exactement, il est utile de nous servir des coefficients de transmission établis suivant la loi exponentielle. Nous nous en occupons plus loin; mais, tout d'abord, il faut établir les intensités du rayonnement solaire pour les différentes épaisseurs atmosphériques pour en déduire plus aisément les coefficients de transmission.

TABLEAU VIII

Valeurs horaires de l'intensité du rayonnement solaire, à l'Ariana, pendant l'année 1926 (d'après les indications du pyrhéliographe thermo-électrique réduites en cal., gr., cm^2, min.).

Heures Temps vrai	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
5 a					0.06	0.12	0.10					
6 a				0.33	0.64	0.60	0.64	0.40	0.12			
7 a		0.50	0.65	0.89	1.00	0.96	0.96	0.81	0.67	0.50	0.31	
8 a	0.75	1.00	1.11	1.13	1.16	1.11	1.11	1.01	0.96	0.89	0.79	0.77
9 a	1.09	1.25	1.31	1.29	1.20	1.22	1.20	1.09	1.09	1.09	1.07	1.05
10 a	1.25	1.40	1.42	1.37	1.31	1.25	1.27	1.18	1.16	1.18	1.20	1.20
11 a	1.33	1.48	1.51	1.42	1.40	1.33	1.31	1.20	1.20	1.22	1.25	1.27
Midi	1.38	1.48	1.51	1.44	1.40	1.33	1.31	1.22	1.22	1.25	1.29	1.33
1 p	1.37	1.46	1.46	1.40	1.40	1.33	1.31	1.20	1.18	1.23	1.29	1.33
2 p	1.27	1.40	1.37	1.38	1.35	1.31	1.27	1.18	1.16	1.20	1.23	1.25
3 p	1.11	1.30	1.27	1.31	1.31	1.26	1.23	1.11	1.07	1.11	1.11	1.07
4 p	0.77	1.05	1.03	1.16	1.23	1.18	1.13	1.00	0.89	0.92	0.89	0.69
5 p		0.46	0.69	0.85	1.07	1.05	0.92	0.79	0.62	0.46	0.27	
6 p					0.71	0.83	0.64	0.40	0.04			
7 p					0.06	0.14	0.06					

TABLEAU IX

Épaisseurs atmosphériques, à l'Ariana, pour les différentes heures (temps solaire vrai)

DATES	5 a 7 p	6 a 6 p	7 a 5 p	8 a 4 p	9 a 3 p	10 a 2 p	11 a 1 p	MIDI
15 I				6.18	3.19	2.31	1.98	1.88
15 II			12.68	3.84	2.38	1.83	1.61	1.54
15 III			5.35	2.65	1.84	1.49	1.33	1.28
15 IV		9.30	3.26	2.02	1.52	1.27	1.16	1.12
15 V		5.08	2.56	1.75	1.37	1.18	1.08	1.05
15 VI	16.90	4.16	2.33	1.65	1.31	1.14	1.05	1.03
15 VII	22.22	4.47	2.41	1.69	1.33	1 15	1.06	1.04
15 VIII		6.51	2.84	1.87	1.44	1.22	1.11	1.09
15 IX		20.35	4.10	2.30	1.67	1.38	1.24	1·20
15 X			7.97	3.23	2.11	1.67	1.47	1.42
15 XI			33.61	5.12	2.84	2.12	1.83	1.75
15 XII				7.30	3.49	2.49	2.11	2.00

TABLEAU X

Valeurs mensuelles de l'intensité du rayonnement solaire à l'Ariana pour les différentes épaisseurs atmosphériques pour l'année 1924

MOIS	ALTITUDES DU SOLEIL AU-DESSUS DE L'HORIZON										
	80°7	79 8	78°7	77°4	75 7	73°6	70°7	66°5	60°0	48°3	0
	ÉPAISSEURS ATMOSPHÉRIQUES										
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
I	0.78	0.83	0.88	0 93	0.99	1.05	1.13	1.23	1.35	(1.50)	(1.64)
II	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00	1.08	1.16	1.25	1.38	1.51	(1.66)
III	0.59	0.65	0.71	0,77	0.85	0.93	1.01	1.12	1.25	1.42	(1.60)
IV	0.55	0.59	0.64	0.70	0.76	0.84	0.92	1.02	1.15	1.30	1.47
V	0.57	0.62	0.68	0.74	0 80	0.87	0.95	1.04	1.13	1.26	1.42
VI	0.51	0.56	0.61	0.67	0.74	0.79	0.89	0.97	1.07	1.19	1.37
VII	0.47	0.52	0.58	0.63	0.69	0.76	0 84	0.93	1.03	1.15	1.32
VIII	0.44	0.49	0.53	0.58	0,64	0.70	0.76	0.85	0.97	1.10	1.30
IX	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.71	0.79	0.88	0.98	1.13	1.33
X	0.62	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.94	1.02	1.12	1.23	1.42
XI	0.76	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.15	1.24	1.36	1.50
XII	0.81	0,86	0.90	0.96	1.01	1.05	1.14	1.22	1.33	(1.44)	(1.56)

N, B. — Les valeurs de cette table, obtenues au moyen des courbes logarithmiques pour les différentes épaisseurs atmosphériques, n'ont pas été ramenées à la distance moyenne de la terre au soleil.

Dans le tableau VIII, nous trouvons les valeurs horaires de la radiation Q à l'Ariana pour les différents mois de l'année 1926 et pour toutes les heures depuis le lever jusqu'au coucher du soleil. Ce tableau, bien qu'intéressant, réunit pourtant les valeurs horaires qui se rapportent aux différentes épaisseurs atmosphériques énumérées dans le tableau IX. Pour pouvoir mieux comparer les différentes valeurs figurant dans le tableau VIII, on a ramené toutes les moyennes horaires de ce tableau aux mêmes épaisseurs atmosphériques entre 1 et 6. Tenant compte de la formule exponentielle, on a employé l'interpolation logarithmique entre les valeurs de m et $Log.\ Q$; dans quelques cas, surtout pour les nombres du tableau X donnés entre parenthèses, on a tracé la courbe logarithmique au delà des limites observées pour déduire la valeur probable de l'intensité Q au zénith ($m = 1$) pendant les mois d'hiver.

Comme nous avons dit déjà, le tableau X nous servira pour le calcul des coefficients de transmission dont nous nous occuperons plus loin.

Chapitre III

MAXIMA MENSUELS ET ANNUELS DE L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT SOLAIRE A L'ARIANA

Avant d'aborder la question de la marche annuelle de l'intensité du rayonnement solaire, il nous faut tout d'abord établir une convention sur la formation des valeurs diurnes et des moyennes mensuelles.

Les méthodes des moyennes habituellement employées pour les éléments météorologiques n'étant pas directement applicables aux mesures de la radiation solaire, il nous semble utile de prendre un point de départ différent dans la question qui nous occupe.

Sauf le soleil même, les autres facteurs qui influencent la radiation solaire pendant la traversée des couches atmosphériques ont une tendance nettement accentuée et définie; ils tendent à diminuer cette quantité d'énergie rayonnante qui se dirige vers la surface de la terre. La plus grande absorption est exercée par les couches inférieures de l'atmosphère terrestre, mais les couches supérieures y prennent aussi leur part. Nous arrivons donc à cette conclusion que, parmi les valeurs mesurées dans un jour donné ou observées dans les mêmes conditions, ce sont les valeurs les plus élevées qui sont les plus caractéristiques.

Cette règle des valeurs maxima se montre particulièrement féconde dans la discussion de la marche de l'intensité du rayonnement solaire Q; appliquée à la question des valeurs diurnes de l'intensité Q, cette règle nous conduit à cette conclusion que, parmi les valeurs mesurées, c'est la valeur la plus grande qui doit être prise comme valeur diurne caractéristique pour le jour donné. Si cette intensité maximum de la radiation était obtenue à midi vrai, c'est-à-dire pour la moins grande distance zénithale du soleil, c'est celle qui devrait nécessairement être admise comme valeur diurne. Si cette valeur correspond à une autre distance zénithale que

celle du midi vrai, elle devrait être considérée comme caractéristique, en la réduisant à midi pour chaque jour donné; au moyen des réductions traitées plus haut, on obtient définitivement les valeurs diurnes de l'intensité du rayonnement solaire.

Il est bien entendu que, dans le choix des mesures correspondantes et dans la réduction à l'épaisseur atmosphérique de midi vrai, il faut tenir compte des intervalles qu'il serait inopportun de dépasser sans porter atteinte à la précision des valeurs réduites; ainsi, par exemple, le calcul des valeurs effectuées près du lever ou du coucher du soleil conduirait, en général, à des valeurs peu certaines. D'autre part, il faut remarquer que, dans le choix des valeurs les plus grandes dans une série des mesures d'un jour donné, il ne s'agit pas toujours des nombres maxima dans le sens arithmétique de ce mot, mais plutôt des valeurs les plus grandes après leur réduction à la même épaisseur atmosphérique.

TABLEAU XI

Maxima de l'intensité du rayonnement solaire à l'Ariana
Période de trois ans : juillet 1924-juin 1927

Mois	1924	1925	1926	1927	Maxima Moyens	Maxima Absolus
	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.
I		1.51	1.52	1.54	1.52	1.54
II		1.54	1.59	1.56	1.56	1.59
III		1.48	1.61	1.59	1.56	1.61
IV		1.51	1.56	1.54	1.54	1.56
V		1.35	1.57	1.48	1.47	1.57
VI		1.40	1.48	1.54	1.47	1.54
VII	1.51	1.52	1.44		1.49	1.52
VIII	1.46	1.35	1.35		1.39	1.46
IX	1.46	1.42	1.37		1.42	1.46
X	1.54	1.48	1.35		1.46	1.54
XI	1.57	1.61	1.35		1.51	1.61
XII	1.51	1.46	1.50		1.49	1.51

N. B. — Les maxima de l'Ariana ont été obtenus à l'aide de deux pyrhéliographes thermo-électriques; un a fonctionné à partir du mois de mai 1925 et avait le coefficient moyen 0.0194. et l'autre jusqu'à cette époque avec le coefficient 0.028. Les valeurs de ces coefficients, variables un peu suivant la division de l'échelle du millivoltmètre enregistreur, ont été déterminées par comparaisons avec les pyrhéliomètres de contrôle suivant l'échelle smithsonienne.

Dans le tableau XI sont donnés les maxima mensuels, moyens et absolus, de l'intensité du rayonnement solaire, obtenus à l'Ariana pendant la période de juillet 1924 à juin 1927. Nous y avons ajouté, à titre de comparaison, les maxima analogues obtenus à Montpellier (tableau XII) et aussi à l'Observatoire du Parc-Saint-Maur, près de Paris (tableau XIII).

Tableau XII

Maxima de l'intensité du rayonnement solaire à Montpellier. — Période de trois ans : octobre 1924-septembre 1927. — Valeur en cal., gr., cm², min. (échelle smithsonienne).

Mois	1924	1925	1926	1927	Maxima Moyens	Maxima Absolus
I		1.37	1.38	1.29	1.35	1.38
II		1.37	1.50	1.38	1.42	1.50
III		1.45	1.45	1.40	1.43	1.45
IV		1.44	1.45	1.38	1.42	1.45
V		1.48	1.40	1.37	1.42	1.48
VI		1.42	1.38	1.36	1.38	1.42
VII		1.49	1.39	1.39	1.42	1.49
VIII		1.45	1.40	1.34	1.40	1.46
IX		1.49	1.45	1.34	1.43	1.49
X	1.38	1.46	1.46		1.43	1.46
XI	1.23	1.49	1.45		1.39	1.49
XII	1.34	1.37	1.33		1.35	1.37

N. B. — Les maxima de 1927 (mars-septembre) ont été obtenus d'après les mesures effectuées plusieurs fois par jour avec le pyrhéliomètre n° 178a à compensation électrique. Les autres valeurs ont été évaluées d'après les observations d'un actinomètre bi-métallique (une fois par jour vers midi jusqu'en mai 1926 et vers 11 heures après cette époque) dont le coefficient a été établi d'après comparaisons simultanées avec le pyrhéliomètre n° 178a (en mai 1926 et pendant six mois de 1927).

On voit, d'après les tableaux XI, XII, XIII (voir ce dernier p. 208), que les plus grands maxima de l'intensité se manifestent à l'Ariana (et aussi à Montpellier) au commencement et à la fin de l'hiver, tandis qu'en plein hiver la position trop basse du soleil empêche l'accroissement plus important du rayonnement solaire.

A Paris, comme à Varsovie, les maxima se déplacent vers le printemps (avril et mai) pour la même raison; de novembre à février, le soleil y est tellement bas, qu'on obtient pendant ces mois les valeurs minima de l'in-

TABLEAU XIII

Maxima de l'intensité du rayonnement solaire à l'Observatoire du Parc-Saint-Maur, près de Paris

Mois	1924	1925	1926	1927	Maxima Moyens	Maxima Absolus
I		1.01	1.08	1.21	1.10	1.21
II	1.27	1.32	1.09	1.21	1.22	1.32
III	1.37	1.23	1.19	1.36	1.29	1.37
IV	1.35	1.33	1.43	1.37	1.37	1.43
V	1.33	1.35	1.29	1.42	1.35	1.42
VI	1.29	1.39	1.29	1.40	1.34	1.40
VII	1.35	1.23	1.37	1.29	1.31	1.37
VIII	1.37	1.36	1.35	1.31	1.35	1.37
IX	1.27	1.38	1.30	1.29	1.31	1.38
X	1.21	1.22	1.19	1.30	1.24	1.30
XI	1.07	1.06	1.19	1.13	1.11	1.19
XII	0.80	1.18	0.88	1.11	0.99	1.18

N. B. — D'après les mesures effectuées par les soins du docteur Brazier, avec un pyrhéliomètre à disque d'argent (S. I. n° 40).

tensité Q. Aussi, comme valeur absolue, les nombres de Q sont plus grands en Tunisie (au-dessus de 1,60 cal.), tandis que le Midi de la France donne 1,50 et que Paris dépasse 1,40 calorie.

A l'Ariana, on observe un minimum bien accentué du rayonnement solaire en août et en septembre après la période d'été, avec ses fortes chaleurs et coups de siroco, tandis qu'à Montpellier et à Paris, c'est plutôt un léger accroissement de l'intensité Q qu'on mesure au commencement de l'automne.

Généralement, ce n'est pas pendant les mois d'été que le climat solaire de l'Ariana montre sa prépondérance par rapport à celui d'Europe. Les grands avantages des conditions solaires du littoral nord-africain se dessinent par contre très fortement en hiver; non seulement l'intensité du rayonnement y est plus forte, mais les jours clairs y sont plus abondants. Cette supériorité de l'intensité et de la durée d'insolation s'accroît encore quand on se déplace du littoral méditerranéen vers les oasis sahariennes. Le tableau XIV (p. 209) nous donne les maxima diurnes de Q pour Montpellier et l'Ariana d'une part, et pour l'oasis saharienne d'Ouargla ($\varphi = 31° 58'$ N, $\lambda = 3° 10'$ E. Gr.) de l'autre. On y voit que le nombre de jours

TABLEAU XIV

Maxima diurnes de l'intensité du rayonnement solaire à l'oasis d'Ouargla, à l'Ariana et à Montpellier

	JANVIER 1926			FÉVRIER 1926			MARS 1926			AVRIL 1926		
	Ouargla	Ariana	Montpellier	Ouargla	Ariana	Montpellier	Ouargla	Ariana	Montpellier	Ouargla	Ariana	Montpellier
1	1.38	1.31	.	1.48	.	.	1.52	.	1.38	1.55	.	1.26
2	1.43	1.33	.	1.54	1.48	.	1.43	1.33	.	1.52	.	1.29
3	1.39	1.13	.	1.45	.	.	.	.	.	1.47	1.35	.
4	1.30	.	1.35	1.53	.	.	1.53	.	1.41	1.47	.	.
5	1.38	.	1.36	1.53	1.42	1.24	1.57	.	1.32	1.45	1.50	1.28
6	1.46	1.46	.	1.54	1.44	.	.	1.48	1.25	1.46	1.54	1.23
7	1.46	1.38	1.18	.	.	1.32	1.50	.	1.31	.	1.48	.
8	1.49	1.40	1.18	1.54	.	.	1.54	1.29	1.30	1.44	1.48	1.36
9	1.30	1.15	1.23	.	1.50	.	1.48	1.42	1.44	1.34	.	1.45
10	1.45	.	.	.	.	.	1.54	1.46	1.35	.	1.50	1.40
11	1.36	1.42	.	1.50	.	.	1.54	1.48	1.33	1.29	.	.
12	1.47	1.44	1.24	1.47	1.46	.	1.43	1.54	1.24	.	.	.
13	.	.	.	1.42	.	.	1.55	.	1.45	1.36	.	1.27
14	.	.	.	.	.	1.34	1.53	1.57	1.31	1.43	.	1.25
15	1.19	.	1.18	1.49	.	1.24	.	1.48	1.31	1.46	.	1.41
16	.	.	1.10	1.56	.	.	1.48	1.61	.	1.51	.	.
17	1.57	.	.	.	.	.	.	1.56	.	1.48	.	.
18	1.48	1.31	.	1.54	1.44	.	.	.	.	—	.	.
19	1.46	.	.	1.55	1.40	1.27	.	.	.	—	.	1.33
20	1.44	1.37	1.33	1.56	1.59	1.50	.	.	.	1.50	.	.
21	1.48	.	.	1.56	1.52	.	1.50	.	1.22	—	.	1.46
22	1.51	.	1.38	1.59	1.59	.	1.46	1.56	1.16	—	.	1.33
23	1.50	1.46	.	1.59	1.56	1.47	.	.	.	—	.	1.35
24	1.50	1.52	.	.	.	1.37	1.45	.	.	—	.	.
25	1.29	.	1.36	.	.	.	1.58	1.54	1.18	1.50	1.56	.
26	1.48	.	1.14	.	1.38	.	1.57	1.46	1.34	1.60	1.52	.
27	1.45	.	.	.	.	1.20	1.54	.	.	—	1.38	1.26
28	1.52	1.37	.	.	.	1.38	.	.	.	—	1.20	.
29	1.55	1.38	.	—	—	—	1.42	.	.	—	.	.
30	1.57	1.44	.	—	—	—	1.48	.	.	—	.	.
31	1.56	.	.	—	—	—	1.55	.	1.20	—	—	—

N. B. — Mesures à l'Ariana (φ = 36° 49' λ = 7° 57' E Gr) et à Ouargla (φ = 31° 58' N, λ = 3° 10 E Gr) pendant toute la journée; les maxima diurnes de Montpellier ont été évalués d'après deux observations journalières à 11 h. 30 et à 9 h. 30 du matin. Les maxima des 17, 20, 25 et 26 avril 1926 qui figurent dans la colonne d'Ouargla se rapportent successivement à Touggourt, le Mesloug, Corneille et le Col-Telmet, situé à une altitude de 1 860 mètres dans l'Atlas algérien.

pendant lesquels les mesures actinométriques furent effectuées, étaient en :

	Ouargla	L'Ariana.
Janvier 1926	28	16
Février 1926	18	12
Mars 1926	22	14

Les maxima moyens de l'intensité du rayonnement solaire étaient plus forts au Sahara qu'au littoral tunisien, mais leur répartition dépend des conditions atmosphériques générales et surtout de la nébulosité locale. Il semble pourtant que l'étude de la transparence de l'atmosphère pour les rayons solaires et pour le spectre entier présente un grand intérêt non seulement au point de vue de l'actinométrie, mais aussi pour la prévision du temps. Surtout dans les régions ensoleillées, près des tropiques, on pourrait attendre que certaines dépressions cycloniques puissent être plus sûrement détectées par les mesures spectro-pyrhéliométriques que par les simples observations de la marche du baromètre. C'est l'avis de plusieurs météorologistes compétents et surtout du grand spécialiste de la météorologie nord-africaine qu'est M. L. Petitjean, à Alger.

Pour pouvoir mieux comparer les maxima du rayonnement solaire obtenus dans divers endroits du monde, nous avons formé le tableau XV (page 211), où, à côté de l'Ariana, figurent Montpellier, Paris et Varsovie en Europe et Tacubaya au Mexique. Bien que les valeurs du tableau XV, se rapportant aux diverses épaisseurs atmosphériques et obtenues dans les conditions différentes de la vapeur d'eau, ne soient pas immédiatement comparables, on voit pourtant nettement certaines différences caractéristiques dans la répartition des intensités du rayonnement solaire dont nous avons déjà parlé plus haut. Par comparaison avec l'Observatoire de Tacubaya, situé dans la haute vallée du Mexique (plus de 2.000 mètres au-dessus du niveau de la mer), on voit la dépression des maxima solaires en été aussi bien à l'Ariana qu'à Tacubaya. Dans cette dernière station, cela se produit sous l'influence de la saison sèche qui, pendant sa durée en hiver et au printemps, accumule beaucoup de poussière, surtout avant la saison humide d'été.

Pour terminer nos comparaisons, donnons encore les valeurs maxima de l'intensité du rayonnement solaire observées aux Etats-Unis de l'Amérique du Nord.

Profitant d'un travail intéressant publié par le docteur H.-H. Kimball (dans le numéro de septembre 1915 de *Monthly Weather Review* de Washington, pp. 439-443), nous sommes en mesure de faire quelques comparaisons entre les maxima obtenus en Afrique du Nord et dans certains points d'Europe avec ceux des Etats-Unis. Il s'agit notamment de quatre stations :

Santa-Fé	$\varphi = 35°41'$ N,	$\lambda = 105°57'$ W	H = 2.138 mètres
Madison	$\varphi = 43°05'$	$\lambda = 89°23'$	H = 297 mètres
Mount Weather	$\varphi = 39°04'$	$\lambda = 77°54'$	H = 530 mètres
Washington	$\varphi = 38°54'$	$\lambda = 77°03'$	H = 36 mètres

TABLEAU XV

Comparaison des maxima mensuels de l'intensité du rayonnement solaire obtenus dans cinq endroits

	Tacubaya 1911-15	Ariana 1924-27	Montpellier 1924-27	Paris 1924-27	Varsovie 1911-15
I	1.66	1.54	1.38	1.21	1.18
II	1.61	1.59	1.50	1.32	1.24
III	1.54	1.61	1.45	1.37	1.29
IV	1 54	1.56	1.45	1.43	1.39
V	1.52	1.57	1.48	1.42	1.35
VI	1.54	1.54	1.42	1.40	1.31
VII	1.51	1.52	1.49	1.37	1.34
VIII	1.53	1.46	1.46	1.37	1.36
IX	1.57	1.46	1.49	1.38	1.39
X	1.55	1.54	1.46	1.30	1.30
XI	1.57	1.61	1.49	1.19	1.13
XII	1.63	1.51	1.37	1.18	0.91
I-XII	1.66	1.61	1.50	1.43	1.39
Ampl.	15	15	13	25	48

***

N. B. — Les coordonnées géographiques des stations figurant dans cette table sont les suivantes :

Tacubaya.....	φ = 19°42' N	λ = 99° W Gr.	H =	2.309 mètres
Ariana.....	φ = 36°49' N	λ = 7°57' E Gr.	H =	10 mètres
Montpellier.....	φ = 43°36' N	λ = 3°53' E Gr.	H =	43 mètres
Paris.....	φ = 48°49' N	λ = 2°29' E Gr.	H =	50 mètres
Varsovie.....	φ = 52°15' N	λ = 21° 2' E Gr.	H =	120 mètres

dont la première, assez élevée, est située dans la région aride près de la Californie du Sud. L'atmosphère est généralement peu nuageuse à Santa-Fé, mais les tempêtes de sable y sont assez fréquentes et longues.

Aux solstices d'hiver, l'altitude du soleil à Santa-Fé n'excède pas 31°, tandis qu'à Washington et à Mount Weather, nous avons 28° et à Madison seulement 24° au-dessus de l'horizon. Les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire aux altitudes plus élevées du soleil se rapportent à la période d'été, quand la terre est plus éloignée du soleil, et, ce qui est plus important, quand l'atmosphère au-dessus de ces stations contient plus de vapeur d'eau et surtout de poussière. Tandis que la station montagneuse de Santa-Fé est située dans la région désertique, la station continentale de Madison se trouve en hiver dans la région anticyclonique et froide dans une atmosphère pure et contenant peu de vapeur d'eau au-dessus du territoire couvert de neige. Cela explique les valeurs élevées de l'intensité du rayonnement solaire à Madison, surtout à la fin de l'hiver et en automne, quand le soleil monte déjà plus haut à midi. Ces valeurs sont données dans le tableau XVI ci-après :

Tableau XVI

Maxima de l'intensité du rayonnement solaire obtenus, aux Etats-Unis, entre 1910 et 1916 (d'après Kimball)

	Santa-Fé (2.138m)	Madison	Mount Weather	Washington
I	1.63	1.49	1.37	1.42
II	1.53	1.57	1.48	1.50
III	1.59	1.60	1.48	1.47
IV	1.57	1.58	1.45	1.49
V	1.55	1.47	1.50	1.45
VI	1.51	1.41	1.47	1.43
VII	1.45	1.36	1.48	1.47
VIII	1.47	1.38	1.45	1.40
IX	1.53	1.42	1.50	1.45
X	1.57	1.38	1.48	1.45
XI	1.63	1.42	1.43	1.48
XII	1.53	1.47	1.40	1.48
I-XII	1.63	1.60	1.50	1.50

CHAPITRE IV

MARCHE ANNUELLE DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU-DESSUS DE L'ARIANA

Pour mieux évaluer les variations de la transparence de l'atmosphère au cours de l'année et pour pouvoir comparer les intensités du rayonnement solaire obtenues à l'Ariana avec les valeurs analogues trouvées dans quelques autres endroits, il est utile d'employer la méthode des coefficients de transmission.

On sait que, pour les rayons homogènes, l'intensité de la radiation solaire qui passe par une épaisseur atmosphérique m peut être évaluée au moyen de la formule :

$$I = I_0 \cdot a^m$$

où Io représente la valeur initiale de l'intensité du rayonnement avant son entrée dans la couche absorbante; a signifie le coefficient de la transmission atmosphérique qui exprime la proportion de l'énergie rayonnante transmise par unité d'épaisseur atmosphérique. Quand le soleil est au zé-

TABLEAU XVII

Valeurs moyennes mensuelles des coefficients de transmission à l'Ariana (Période de 3 ans : juillet 1924-juin 1927)

Mois	Coefficients de transmission pour les différentes épaisseurs atmosphériques entre :					
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
I	.81	.82	.83	.87	.88	.88
II	.81	.83	.83	.85	.89	.89
III	.79	.77	.80	.83	.82	.83
IV	.78	.79	.81	.83	.85	.85
V	.73	.80	.84	.84	.85	.84
VI	.72	.79	.84	.84	.83	.84
VII	.72	.79	.83	.84	.86	.83
VIII	.69	.74	.77*	.85	.83	.84
IX	.65*	.72*	.79	.81*	.82*	.79*
X	.75	.79	.84	.86	.88	.88
XI	.80	.83	.86	.90	.90	.90
XII	.80	.85	.86	.89	.89	.90
Moyennes	.75	.79	.83	.85	.86	.86

nith, l'épaisseur m est égale à 1,0 à la surface terrestre au niveau de la mer; pour les rayons obliques, l'épaisseur atmosphérique augmente et elle est sensiblement proportionnelle à la *sécante* de la distance zénithale Z du soleil. Quand cette dernière distance dépasse 80°, cette proportionnalité n'a plus lieu; dans ce cas, on a utilisé souvent la formule :

$$m = \frac{\text{Réfraction atmosphérique}}{K.\ SinZ}$$

où K représente une constante.

Comme il est dit plus haut, les meilleures tables pour les valeurs de l'épaisseur m en fonction de la distance zénithale Z du soleil ont été calculées par Bemporad (*Rend. Acc. Lincei, Ser.*, 5,2 Sem. 1907, pp. 66-71, Roma), qui a admis $K = 58'',36$.

Bien que la formule exponentielle citée plus haut ne soit strictement ap-

TABLEAU XVIII

Valeurs moyennes de l'intensité du rayonnement solaire Q à l'Ariana, pour les différentes épaisseurs atmosphériques. — Période : juillet 1924-juin 1927 (trois ans).

Mois	Q $f = 11\ 1/2$ dist. moy. $m = 1$	VALEURS DE Q POUR LES MASSES ATMOSPHÉRIQUES 1,5	2	3	4	5	6
I	1.57	1.43	1.28	1.06	0.92	0.81	0.71
II	1.57	1.42	1.29	1.07	0.91	0.81	0.72
III	1.53	1.35	1.18	0.94	0.78	0.64	0.53
IV	1.51	1.34	1.19	0.96	0.80	0.68	0.58
V	1.42	1.26	1.13	0.95	0.80	0.68	0.57
VI	1.40	1.22	1.10	0.92	0.77	0.64	0.54
VII	1.40	1.23	1.11	0.92	0.77	0.66	0.55
VIII	1.33	1.12	0.99	0.78	0.66	0.55	0.46
IX	1.27	1.06	0.91	0.72	0.58	0.48	0.38
X	1.45	1.25	1.14	0.96	0.83	0.73	0.64
XI	1.55	1.41	1.29	1.11	1.00	0.90	0.81
XII	1.56	1.44	1.33	1.14	1.01	0.90	0.81
Moyennes :	1.46	1.29	1.16	0.96	0.82	0.71	0.61

N. B. — Les valeurs de Q dans la deuxième colonne ($F = 11\ 1/2$ dist. moy., $m = 1$) ont été transcrites du tableau VII (colonne 6) ; les valeurs de Q pour les épaisseurs atmosphériques de 1,5 — 2 — 3 — 4 — 5, et ont été calculées d'après les données du tableau X.

Toutes les valeurs de Q sont ramenées à la distance moyenne de la terre au soleil.

plicable qu'aux rayons homogènes, elle est utile aussi pour évaluer approximativement les conditions de la transmission du rayonnement solaire englobant le spectre entier. Dans le tableau XVII (p. 213) sont données les valeurs moyennes mensuelles des coefficients de transmission à l'Ariana pour la période de trois ans (juillet 1924-juin 1927); ces coefficients ont été calculés d'après les données du tableau XVIII (p. 214) admettant la valeur de la constante solaire égale à $Qo = 1{,}94$ cal. gr. cm² et min. à la distance moyenne de la terre au soleil.

L'exemple suivant, tiré du tableau XVIII, nous montre comment on procède pour calculer facilement les coefficients de transmission :

D'après le tableau XVIII on a, en moyenne annuelle, les valeurs suivantes de Q pour les différentes épaisseurs atmosphériques :

$$Q_1 = 1{,}46 \qquad a_{0\text{-}1} = \frac{Q_1}{Q_0} = \frac{1.46}{1.94} = 0.75_3$$

$$Q_{1,5} = 1{,}29 \qquad a_{1\text{-}2} = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1.16}{1.46} = 0.79_5$$

$$Q_2 = 1{,}16 \qquad a_{2\text{-}3} = \frac{Q_3}{Q_2} = \frac{0.96}{1.16} = 0.82_8$$

$$Q_3 = 0{,}96 \qquad a_{3\text{-}4} = \frac{Q_4}{Q_3} = \frac{0.82}{0.96} = 0.85_4$$

$$Q_4 = 0{,}82 \qquad a_{4\text{-}5} = \frac{Q_5}{Q_4} = \frac{0.71}{0.82} = 0.86_6$$

$$Q_5 = 0{,}71 \qquad a_{5\text{-}6} = \frac{Q_6}{Q_5} = \frac{0.61}{0.71} = 0.85_9$$

$$Q_6 = 0{,}61$$

D'après les données du tableau XVII, on voit que le coefficient de transmission, qui est égal à 0,75 en moyenne annuelle pour la couche atmosphérique de 0 à 1, présente cependant une marche annuelle caractéristique. La transmission est la plus haute en hiver (environ 0,81) et la plus basse au commencement de l'automne (0,65 en septembre). Le coefficient de transmission augmente pour les couches atmosphériques entre 1 et 2, 2 et 3, etc..., etc...; mais le caractère de la marche annuelle reste à peu près le même.

Il faut remarquer que les valeurs du coefficient de transmission dépendent un peu des réductions qu'on applique aux intensités du rayonnement solaire. D'après le tableau XIX (p. 216), on voit pourtant que la réduction supplémentaire à la tension de la vapeur d'eau n'influe pas beaucoup sur les coefficients de transmission. D'autre part, ces derniers sont naturellement beaucoup plus grands pour les valeurs maxima de l'intensité que pour les valeurs moyennes mensuelles.

TABLEAU XIX

Valeurs moyennes et maxima mensuels de l'intensité du rayonnement solaire, à l'Ariana, réduits à la même épaisseur atmosphérique et à la distance moyenne de la terre au soleil. Période de trois ans : juillet 1924-juin 1927.

MOIS	VALEURS MOYENNES MENSUELLES				MAXIMA ABSOLUS	
	VALEURS Q_1		COEFFICIENTS $a_{o\text{-}1}$		Q_1	$a_{o\text{-}1}$
	$m=1$ dist. moy.	$f=11\frac{1}{2}$ dist. moy.	$m=1$ dist. moy.	$f=11\frac{1}{2}$ dist. moy.	$m=1$ dist moy.	$m=1$ dist. moy.
I	1.61	1.57	.83	.81	1.75	.90
II	1.60	1.57	.82	.81	1.72	.89
III	1.56	1.53	.80	.79	1.69	.87
IV	1.51	1.51	.78	.78	1.61	.83
V	1.42	1.42	.73	.73	1.62	.84
XI	1.38	1.40	.71	.72	1.59	.82
VII	1.37	1.40	.71	.72	1.57	.81
VIII	1.29	1.33	.66	.69	1.54	.78
IX	1.24	1.27	.64	.65	1.50	.77
X	1.44	1.45	.74	.75	1.66	.86
XI	1.56	1.55	.80	.80	1.81	.95
XII	1.60	1.56	.82	.80	1.75	.90
Moyennes	1.465	1.46	.75	.75	1.65	.85

N. B. — Les valeurs moyennes Q ont été transcrites du tableau VI (colonnes 5 et 6) et correspondent aux intensités réduites à l'épaisseur $m = 1$ et à la distance moyenne et, dans la colonne suivante, encore à la même tension de la vapeur $f = 11$ m/m 1/2. Pour ces deux séries des intensités Q on a calculé les valeurs correspondantes des coefficients a_{o}-1.

Les colonnes avec maxima absolus ont été calculées pour $m = 1$ et la distance moyenne, sans une réduction supplémentaire, pour f. Ces maxima ont été obtenus d'après les tableaux correspondants du chapitre III.

La différence moyenne entre les coefficients de transmission, obtenue dans les conditions moyennes et d'après les maxima mensuels absolus (voir tableau XX ci-après) est voisine de 0,10 pour l'Ariana et pour Varsovie; mais, tandis qu'à Varsovie ce sont les mois d'hiver qui donnent les différences les plus grandes, c'est l'automne et l'été qui jouent le même rôle à l'Ariana.

TABLEAU XX

Comparaison des coefficients de transmission obtenus à l'Ariana (Tunisie) et à Varsovie (Pologne) pour les intensités moyennes et les maxima mensuels de l'intensité du rayonnement solaire.

Mois	Varsovie : 1901-1913				Différences des coefficients			
	Moyennes		Maxima absolus		Max. - Moy.		Ariana-Varsovie	
	$m = 1$ dist. moy. $f = 7$	a_{0-1}	$m = 1$ dist. moy. $f = 7$	a_{0-1}	Varsovie	Ariana	max.	moy.
I	1.20	.62	1.56	.80	0,18	0.07	0.10	0.21
II	1.22	.63	1.48	.76	13	07	13	19
III	1.24	.64	1.48	.76	12	07	11	16
IV	1.28	.66	1.47	.76	10	05	07	12
V	1.26	.65	1.46	.75	10	11	09	08
VI	1.28	.66	1.46	.75	09	11	07	05
VII	1.31	.68	1.49	.77	09	10	04	03
VIII	1.28	.66	1.44	.74	08	12	04	00
IX	1.31	.68	1.54	.79	11	13	--02	--04
X	1.29	.66	1.47	.76	10	12	10	08
XI	1.24	.64	1.52	.78	14	15	17	16
XII	1.15	.59	1.44	.74	15	08	16	23
Moyennes	1.27	.65	1.48	.76	11	10	09	10

N. B. — Les valeurs mensuelles de l'intensité du rayonnement solaire à Varsovie ont été tirées des publications de l'auteur et notamment du mémoire « Valeurs pyrhéliométriques et sommes d'insolation à Varsovie pendant la période 1901-1913 » (Société des Sciences, Varsovie, 1914).

TABLEAU XXI

Comparaison des coefficients moyens de transmission de l'intensité du rayonnement solaire pour divers endroits du globe

	H *Km*	φ NORD	COEFFICIENTS de transmission 0—1	1—2	2—3	Q_2
			0.	0.	0.	
A) *Hautes montagnes :*						
Mount Whitney (Etats-Unis)	4.4	36°6	89	.	93	1.56
Pico de Teyde (Canaries)	3.7	28°3	90	.	91	1.53
Jungfraujoch (Suisse)	3.5	46°5	88	93	.	1.56
Sonnblick (Autriche)	3.1	47°1	89	.	91	1.44
Pangerango (Java)	3 0	6°8 Sud	89	.	.	1.45
B) *Montagnes moyennes :*						
Arequipa (Pérou)	2.5	16°4 Sud	82	87	.	1.33
Arosa (Suisse)	1.9	46°3	80	.	89	1.34
Mount Wilson (Etats-Unis)	1.7	34°2	79	.	89	1.34
Davos (Suisse)	1.6	46°8	77	.	91	1.23
Pozyzewska (Pologne)	1.4	48°2	78	.	.	1.26
C) *Région méditerranéenne :*						
Ariana (Tunisie)	0.0	36°8	75	79	83	1.17
Helwan (Egypte)	0.0	29°9	73	.	.	1.20
Naples (Italie)	0.0	40°9	72	.	85	1.15
D) *Iles :*						
Batavia (Java)	0.0	6°2 Sud	68	.	80	0.93
Apia (Samoa)	0.0	13°6 Sud	63	.	82	0.98
E) *Plaines :*						
Washington (Etats-Unis)	0.1	38°9	70	.	83	1.07
Varsovie (Pologne)	0.1	52°2	65	80	84	1.04
Potsdam (Allemagne)	0.1	52°4	70	.	83	1.13

N. B. — La plupart des coefficients de transmission donnés dans ce tableau ont été tirés du mémoire du Dr Kimball dans « Monthly Weather Review » (Avril 1927, Washington).

La marche des différences (Ariana)-(Varsovie) présente un caractère analogue; pendant l'hiver, le coefficient de transmission est jusqu'à 30 % plus grand à l'Ariana, tandis qu'en été les conditions sont presque les mêmes à Varsovie qu'à l'Ariana, et au mois de septembre la transmission est moins grande dans les environs de Tunis que dans la capitale de la Pologne.

Il faut cependant noter que le grand centre qu'est Varsovie (avec un million d'habitants et beaucoup d'industries) exerce naturellement une influence sur l'intensité du rayonnement solaire à la surface terrestre et produit une dépression locale dans les valeurs du coefficient de transmission.

On voit cela dans le tableau XXI (p. 218), en comparant Varsovie avec Potsdam, où l'Observatoire météorologique est situé en pleine forêt sur une colline, loin des grandes agglomérations urbaines et industrielles. La même remarque s'applique à Washington, où l'Observatoire est aussi situé hors de la ville, qui ne contient du reste presque pas d'établissements industriels.

Dans tous les cas, le coefficient de transmission sur le littoral tunisien est relativement beaucoup plus élevé que dans les plaines européennes ou dans les îles. La différence au profit de l'Ariana est de 10 % environ en moyenne annuelle par rapport à Varsovie; elle est surtout marquée en hiver, où elle dépasse le double, mais en été et surtout au commencement de l'automne, les conditions de transmission de l'intensité du rayonnement solaire sont même moins avantageuses dans les environs de Tunis que dans les plaines européennes.

Chapitre V

INFLUENCE DES ÉRUPTIONS VOLCANIQUES SUR LES VALEURS OBSERVÉES DE L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Dans les séries suffisamment longues des valeurs mensuelles de l'intensité du rayonnement solaire, on a constaté de puissantes dépressions causées par les éruptions volcaniques. Ces troubles temporaires de l'opacité atmosphérique se reflètent admirablement dans les séries des mesures actinométriques et sont sans doute plus violents et parfois plus caractéristiques que les variations plus petites attribuées à l'activité du soleil.

Pendant la période de 1883 jusqu'à nos jours, on a observé les dépressions suivantes :

a) Eruption d'une petite île (Krakatoa, près de Java), en été 1883.	Dépressions en 1884, 1885 et 1886 observées dans les valeurs actinométriques et dans les phénomènes optiques dans l'atmosphère terrestre.

b) Eruptions de Bandaisan (1888), de Bogoslof (1890) et de Awoe (G. Sangir), en 1892.	Dépressions intermittentes pendant la période de 1888-1892.
c) Eruptions de Santa-Maria (1902), du Mont-Pelé (Martinique) en 1902 et de Colima (1903).	Dépressions de l'intensité du rayonnement solaire, observées en 1902, 1903 et 1904.
d) Eruptions du volcan Katmai (Alaska), en juin 1912.	Dépressions observées en 1912 et 1913 à Tacubaya (Mexique), à U. S. Amérique, en Europe et en Asie (Simla, Indes Orientales).

On a observé aussi quelques autres petites dépressions (par exemple en été 1916 à Florence en Italie, à Varsovie en Pologne, aux Iles Canaries, etc.), mais on n'a pas encore établi l'origine de ces fluctuations plus courtes des valeurs du rayonnement solaire.

Les quatre grandes dépressions dont nous avons parlé plus haut sont bien visibles dans le tableau XXII (p. 221), où on trouve les écarts des moyennes annuelles des valeurs de l'intensité du rayonnement solaire, calculés principalement d'après les mesures effectuées à Varsovie (1921-1924), et à Montpellier depuis 1883.

Dans le tableau XXII, on voit notamment :

a) Dépressions en 1884, 1885 et 1886 comme suite de l'éruption de Krakatoa (Java) en 1883;

b) Dépressions en 1890, 1891 et 1892 (éruption de Bogoslof et autres volcans);

c) Dépression en 1903 et 1904 (causée principalement par le Mont-Pelé (Martinique);

d) Dépression en 1912 et 1913 par suite de l'éruption du volcan Katmai (Alaska), en juin 1912.

Par rapport à l'influence qu'a exercée l'éruption du volcan Katmai (Alaska) en juin 1912 sur les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire, notons qu'en Pologne, à une distance de plus de 10.000 kilomètres de l'Alaska, cette dépression est déjà bien accentuée en juillet 1912 à Varsovie; comme il s'ensuit du tableau XXIII (p. 222), les valeurs solaires sont relativement très basses dans la capitale de la Pologne jusqu'à janvier 1913 inclus. Enfin, il est à noter que la dépression prend fin déjà en décembre 1913 en Amérique du Nord, mais seulement en janvier 1914 à Varsovie, ce qui est naturel vu le chemin parcouru de l'Alaska par la fine poussière volcanique jusqu'à l'Europe.

Bien que la série des mesures solaires, commencée à l'Ariana en 1924, tombe dans la période où aucune grande éruption volcanique n'a influencé visiblement la marche du rayonnement solaire arrivant à la surface terrestre, il y a lieu de compter toujours avec cette grande source de dépression qui, en Tunisie comme ailleurs, produit d'importantes répercussions dans les phénomènes météorologiques et agricoles.

TABLEAU XXII

Ecarts des moyennes annuelles de l'intensité du rayonnement solaire (en % des moyennes générales pour les périodes 1883-1900 et 1901-1924)

A) D'après Montpellier (France) et autres stations, depuis 1883		B) D'après Varsovie (Pologne), pendant la période de 1901 à 1924	
—			
»		1901	4
»		02	— 1
»		03	— 13
1883	— 3	04	— 3
84	— 8	05	3
85	— 11	06	4
86	— 4	07	2
87	5	08	0
88	1	09	2
89	0	1910	1
1890	— 4	11	7
91	— 5	12	— 6
92	— 1	13	— 3
93	4	14	— 2
94	2	15	— 1
95	3	16	— 2
96	3	17	1
97	3	18	3
98	4	19	1
99	3	1920	0
1900	1	21	1
»		22	— 1
»		23	— 2
»		1924	0

Tableau XXIII

Maxima mensuels de l'intensité du rayonnement solaire observés à Varsovie, de 1901 à 1924. Ecarts (en %) des maxima mensuels moyens pendant les périodes 1901-18 et 1919-24

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	A. Ecarts en % par rapport aux moyennes pendant la période 1901-1918											
1901	— 1	13	— 4	6	5	3	3	9	2	4	5	14
2	0	8	6	2	— 9	— 5	7	5	8	— 2	—13	—16
3	—23	—19	—15	—17	—21	— 3	— 7	—14	—11	— 7	.	.
4	—21	—13	3	— 2	6	— 8	4	1	0	1	— 5	— 9
5	1	3	— 1	2	8	5	5	3	7	2	— 6	1
6	8	— 6	3	4	4	4	2	— 3	— 1	9	23	16
7	— 1	4	0	1	1	— 3	— 2	4	1	8	13	— 3
8	9	—15	— 7	— 4	3	2	3	5	7	2	2	— 4
9	0	— 1	2	— 3	5	1	.	3	0	— 4	.	4
10	5	2	5	— 1	1	0	.	— 2	1	2	.	— 1
1911	.	6	12	5	8	7	9	5	7	11	13	.
12	37	17	— 1	10	— 4	3	—16	—14	—26	—27	—24	—16
13	—14	— 1	— 5	— 2	— 1	— 3	— 3	— 1	4	1	—12	— 4
14	—22	— 4	— 7	— 1	— 2	2	2	2	— 4	— 2	1	— 3
15	—17	— 6	3	3	1	4	— 5	2	1	7	— 6	— 1
16	8	1	0	1	— 1	— 3	— 5	—10	1	— 5	— 6	— 2
17	14	5	— 3	3	5	— 4	4	4	1	— 1	0	1
18	14	5	6	— 5	— 4	3	3	2	1	1	11	5
	B. Ecarts en % par rapport aux moyennes pendant la période 1919-1924											
1919	3	.	2	2	4	2	— 2	4	1	2	— 4	— 3
20	— 2	— 8	— 1	— 5	3	1	2	— 5	5	8	3	.
21	6	10	— 1	3	— 1	— 3	— 1	0	2	— 2	3	— 7
22	10	— 6	— 2	— 3	— 5	0	— 2	2	— 3	2	.	.
23	— 1	— 6	— 2	.	— 2	.	2	0	— 2	— 8	.	.
25	—15	10	2	3	0	0	2	— 2	— 5	— 1	0	11

N. B. — Le tableau XXIII est extrait des publications de l'auteur du présent : « Valeurs pyrhéliométriques et sommes d'insolation à Varsovie pendant la période 1901-1913 » (Varsovie 1914, Publications de la Société Scientifique de Varsovie) et du docteur Edward Stenz : « L'intensité de la radiation solaire et l'insolation à Varsovie pendant la période 1913-1918 (*Annuaire de l'Institut Central Météorologique de Pologne*, Année 1919, Varsovie 1922). En outre, les valeurs de 1919-1924 ont été calculées d'après les données de M. P. Zborowski. Ajoutons encore que la question des dépressions solaires a été traitée par l'auteur du présent dans les mémoires suivants :

1° « Sur la diminution de l'intensité du rayonnement solaire en 1903 » (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 1903).

2° « Quelques renseignements sur la dépression du rayonnement solaire à Varsovie en 1903 » (*Bulletin Météorologique de l'Hérault*, Montpellier 1906).

3° « On the depression in the value of the total intensity of the solar radiation in 1903 according to measurements made at the Central Station of the polish Meteorological at Warsaw (*Monthly Weather Review*, April 1907, Washington).

4° « Sur les dépressions en 1912 et 1913 dans les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire » (*Comptes Rendus de la Société Scientifique*, VIIe année, fasc. 3), Varsovie 1914.
Voir aussi « *Boletino de la Società Meteorologica italiana* » (Torino 1921), et « *Monthly Weather Review* » (pp. 606-608, November 1921).

5° « On the existence of temporary depressions in the solar climate of Siam (*Journal of the Siam Society*, Vol. XVIII, April 1924, Bangkok).

Imprimerie Rapide — Tunis